

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y SISTEMAS DE TELECOMUNICACIÓN

PROYECTO FIN DE GRADO

TÍTULO: PROCESO DE REPLANTEO DE UN NODO URBANO

AUTOR: QUINTANA DEL BARRIO, JORGE ENRIQUE

TITULACIÓN: SISTEMAS DE TELECOMUNICACIÓN

TUTOR (o Director en su caso): RUEDA FRÍAS, CARLOS

DEPARTAMENTO: DIAC

Miembros del Tribunal Calificador:

PRESIDENTE: LÓPEZ PÉREZ, NICOLÁS

VOCAL: RUEDA FRÍAS, CARLOS

SECRETARIO: RODRÍGUEZ MARTÍN, JOSÉ M^a

Fecha de lectura: Julio 2014

Calificación:

Resumen

El continuo desarrollo que está teniendo el mundo de las telecomunicaciones móviles hace que la red móvil esté sufriendo progresivos cambios para adaptarse a las nuevas tecnologías móviles que ofrecen un mejor servicio.

El cambio en la red móvil no solo se produce por el desarrollo de las nuevas generaciones móviles. La red móvil se adapta también a la demanda de usuarios la cual no deja de incrementar a lo largo de los últimos años. Por tanto, los operadores tienen que ampliar su red instalando nodos que tengan las nuevas tecnologías y también las anteriores. Aparte de crear nuevos nodos también tienen que modificar sus nodos antiguos y convertirlos en nodos que soporten mayor número de usuarios. Hoy en día, en España, se están instalando nuevos nodos con 2G, 3G y 4G y además se están realizando ampliaciones de portadora para 3G.

Este proyecto se divide en cuatro partes, la primera de ella se centra en explicar el proceso a seguir para la instalación de un nuevo nodo urbano. Este proceso es muy parecido para instalar un nodo con una tecnología u otra, en el caso del proyecto se explicarán los pasos a seguir para la instalación de un nodo con 2G y 3G. Posteriormente se explicará cómo se realizan las medidas para corroborar el correcto funcionamiento de un nodo rural y se compararán a las medidas de zona urbana mediante capturas de un nodo específico. En la penúltima parte del proyecto se estudia la cobertura en interiores y las diversas soluciones que se toman normalmente para mejorar dicha cobertura en edificios, almacenes y centros comerciales. Por último aparecen las conclusiones del proyecto y los trabajos futuros en donde se realiza una visión de posibles estudios relacionados con este proyecto y una visión de cómo puede quedar formada la red en unos años.

Abstract

Due to the continuous development of mobile telecommunications the mobile networks have undergone rapid changes to adapt to new mobile technologies that offer a better service.

The mobile network change hasn't only occurred because of the development of new generations of mobile radio-communications. The mobile network adapts itself to user demand, which has been growing over the last few years faster than expected. Therefore, mobile operators have to enlarge its network by installing nodes that share the old and new technologies. Apart from creating new nodes, the operators have to modify the old ones and turn them into nodes that support an increasing number of users. Nowadays, in Spain new nodes with 2G 3G and 4G are being installed, and carrier extensions for 3G are being made as well.

This project is divided into four parts. The first chapter focuses on explaining the process that should be followed to install a new urban node. This process is similar to install a node with any of the technologies available. In the case of this project, the steps to follow in setting up a wireless node with 2G and 3G will be detailed.

Afterwards, in the second chapter the document continues explaining the measurements that should be carried out to ensure proper performance of a rural node. Then, those measurements will be compared with the ones of an urban node. In the third part of the project it is explained how coverage indoor studies are performed, and the different solutions that are usually proposed to improve coverage in buildings, stores and shopping centers.

The last chapter explains the conclusions that have been reached and future works. It is provided a widespread view of possible studies related to this project and how the mobile will improve in the following years.

Índice de contenidos

Resumen	1
Abstract	3
Índice de figuras	7
Índice de tablas	8
Listado de acrónimos	9
1. INTRODUCCIÓN	14
1.1 Marco tecnológico	14
1.1.1 Servicios de comunicaciones móviles.....	16
1.1.2 Otros servicios.....	18
1.2 Objetivos del proyecto	19
1.3 Estructura de la memoria.....	19
2. INTEGRACIÓN DE UN NODO URBANO.....	21
2.1 Visual.....	22
2.2 Replanteo	22
2.3 Plantillas radio y TX.....	23
2.4 Enrutamiento de la TX.....	25
2.4.1 Gestión de recursos para la instalación.....	26
2.4.2 Diseño de la Transmisión.....	27
2.4.3 Solución de gestión.....	29
2.4.4 Solución de sincronismo.....	30
2.5 Integración Radio	31
2.6 Implementación TX.....	31
2.7 FT y aceptación.....	32
2.7.1 Informe de aceptación de 2G de un nodo urbano	34
2.7.2 Informe de aceptación de 3G de un nodo urbano	36
3. COMPARACIÓN DE MEDIDAS CON UN NODO RURAL	40
4. ESTUDIO DE COBERTURA INDOOR.....	51
4.1 Medidas previas y presupuesto.....	51
4.2 Replanteo	52
4.3 Integración.....	55
4.4 Aceptación.....	55
5. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	56
6. BIBLIOGRAFÍA	58

Índice de figuras

Figura 1. Central de conmutación manual	15
Figura 2. Estadísticas ventas de la agencia Gartner. Fuente:[3].....	16
Figura 3. Comparativa de generaciones móviles.....	17
Figura 4. Enrutamiento MLPP.....	25
Figura 5.Enrutamiento IP Ethernet PMW	26
Figura 6. Enrutamiento FTTN	26
Figura 7. Anillos FM y MM.....	28
Figura 8. Anillos ADM.....	28
Figura 9. Ethernet vía MW Ethenet	29
Figura 10.Solución de gestión del PTN.....	30
Figura 11. Target BCCH Map de un nodo urbano denso.....	35
Figura 12. Target RX Level Map de un nodo urbano denso.	36
Figura 13. Target SC Map de un nodo urbano denso.	38
Figura 14. Target RSCP Map de un nodo urbano denso.	38
Figura 15. PC para realizar DT.....	40
Figura 16.Scanner para realizar DT.	41
Figura 17. Antenas para realizar DT.....	41
Figura 18. Target BCCH Map.	42
Figura 19. Target SC Map.	43
Figura 20. Target RxLevel Map.	44
Figura 21.Target RSCP Map.	44
Figura 22. Target Eclo Map.....	45
Figura 23. Events Map.....	46
Figura 24. BCCH Best Server Map.....	47
Figura 25. SC Best Server Map.....	47
Figura 26. Best Server Rx Level Map.....	48
Figura 27.Best Server RSCP.	49
Figura 28.Best Server Eclo.....	49
Figura 29. Esquema vertical de diseño con repetidor.	54

Índice de tablas

Tabla 1. KPI que tiene que cumplir el 2G del nodo.	33
Tabla 2. KPI que tiene que cumplir el 3G del nodo.	33
Tabla 3. Niveles de potencia umbral para el 2G.....	34
Tabla 4. Umbrales de potencia y Eclo para el 3G.....	37
Tabla 5. Presupuesto replanteo para la integración de un repetidor.	52

Listado de acrónimos

ADM	<i>Add and Drop Multiplex</i>
AMPS	<i>Advanced Mobile Phone System</i>
APS	<i>Automatic Protection Switching</i>
BBDD	<i>Bases de Datos</i>
BCC	<i>Base Colour Code</i>
BCCH	<i>Broadcast Control Channel</i>
BSC	<i>Base Station Controller</i>
CDMA	<i>Code Division Multiple Access</i>
CE DL	<i>Channel Element Down Link</i>
CE UL	<i>Channel Element Up Link</i>
CID	<i>Cell ID</i>
CS	<i>Circuit Switching</i>
CSSR	<i>Call Setup Success Rate</i>
DCN	<i>Data Communication Network</i>
DCS	<i>Digital Cellular System</i>
DT	<i>Drive Test</i>
E2E	<i>End to End</i>
EDACS	<i>Enhanced Digital Access Communication System</i>
EDGE	<i>Enhanced Data rates for GSM Evolution</i>
FSC	<i>Final Site Candidate</i>
FT	<i>First Tuning</i>
FTTN	<i>Fiber To The Node</i>

Listado de acrónimos

GIS	<i>Geographic Information System</i>
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GRIET	<i>Gestión Recursos de Infraestructuras y Entorno Técnico</i>
GSM	<i>Global System for Mobile Communication</i>
HSN	<i>Hopping Sequence Number</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
IP MLPPP	<i>IP Multi Link Point Protocol</i>
KPI	<i>Key Performance Indicator</i>
LAG	<i>Link Aggregation</i>
LSP	<i>Label Switched Path</i>
LTE	<i>Long Term Evolution</i>
LTE-A	<i>Long Term Evolution Advanced</i>
NCC	<i>Network Colour Code</i>
NFC	<i>Near Field Communication</i>
NMT	<i>Nordic Mobile Telephone</i>
O&M	<i>Operation y Maintenance</i>
PDC	<i>Personal Digital Cellular</i>
PLC	<i>Physical Link Connection</i>
PMW	<i>Packet MicroWave</i>
POC	<i>Point Of Convergence</i>
POP	<i>Point Of Presence</i>
PS	<i>Packet Switching</i>
PTC	<i>Petición técnica de Cobertura</i>
PTN	<i>Equipo de TX</i>

RFU	<i>Radio Frequency Unit</i>
RNC	<i>Radio Network Controller</i>
ROE	<i>Relación de Onda Estacionaria</i>
RRU	<i>Remote Radio Unit</i>
SC	<i>Scrambling Code</i>
SDH	<i>Synchronous Digital Hierarchy</i>
SIU	<i>Subscriber indoor Unit</i>
SMS	<i>Short Message Service</i>
TACS	<i>Total Access Communication System</i>
TDM	<i>Time Division Multiplexing</i>
TDMA	<i>Time Division Multiple Access</i>
TRX	<i>Transceptores Radio</i>
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunications System</i>
VLAN	<i>Virtual Local Area Network</i>
VRRP	<i>Virtual Router Redundancy Protocol</i>
WIFI	<i>Wireless Fidelity</i>
WiMAX	<i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i>
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i>
WMAN	<i>Wireless Metropolitan Area Network</i>
WPAN	<i>Wireless Personal Area Network</i>
WWAN	<i>Wireless Wide Area Network</i>

1. INTRODUCCIÓN

De todos los campos que hay dentro de las telecomunicaciones se puede decir que la telefonía móvil es uno de los que más crecimiento ha tenido a lo largo de estos últimos años y esto es debido al gran avance tecnológico, sobretodo en cuanto a redes se refiere, y a la continua competencia de los operadores para cubrir la hambrienta **demanda** de los usuarios.

Dentro del amplio campo de la telefonía móvil, este proyecto se centra en explicar el proceso que hay que seguir para la correcta instalación de un nodo de telefonía móvil actual. La parte principal del proceso reside en el diseño de la parte radio y de la parte de transmisión. Otra parte fundamental es corroborar el correcto funcionamiento del nodo al finalizar el proceso de instalación, por lo que se detallará en este proyecto una serie de medidas realizadas para el nodo diseñado.

Además de la explicación del proceso a seguir para el nodo urbano anteriormente citado, se compararán las diferentes medidas y requisitos para un nodo rural. Se mostrará cómo se realiza un estudio de cobertura de un edificio, y finalmente expondré mis conclusiones y posibles trabajos futuros.

1.1 Marco tecnológico

Desde el principio de las telecomunicaciones ha habido dos medios para llevar a cabo una comunicación: con o sin hilos, por cable o por el aire. Ambas partes son importantes en el proceso de comunicación entre un terminal y otro. Cierto es que la parte radio, la parte wireless, es muy importante ya que los extremos no son siempre fijos.

Ambos medios tienen sus pros y sus contras, por un lado la parte radio permite la movilidad entre los extremos y la mayor facilidad para llevar a cabo una infraestructura, aunque presta menor inmunidad respecto a las interferencias y posibles pérdidas por atenuaciones.

Por otra parte el cable es necesario para la comunicación entre diferentes nodos que estén alejados entre sí. El cable es más inmune a interferencias, tiene pérdidas pero se ha mejorado mucho en estos años añadiendo tiradas de fibra óptica casi desde el inicio del nodo de telefonía.

Hace años la comunicación vía radio estaba focalizada a transmisiones broadcast, como la transmisión de radio y televisión, o en situaciones en las que no se pudiera tirar cable por motivos de orografía. Sin embargo en el inicio de la telefonía se realizaban comunicaciones punto a punto mediante tiradas de cable desde un acceso fijo origen, como puede ser una casa, hacia otro acceso fijo destino, como puede ser otra casa, previamente conmutado manualmente por una central de conmutación. Todo el sistema cableado, sin parte radio.

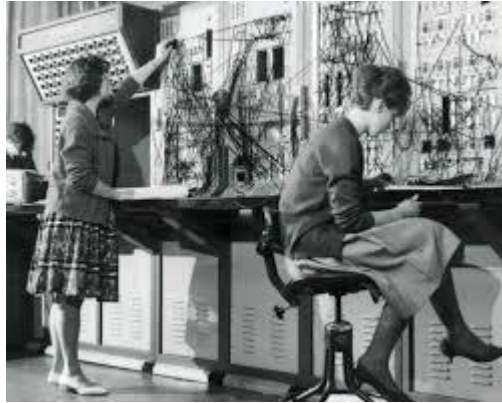


Figura 1. Central de conmutación manual

La primera llamada desde un teléfono móvil se realizó hace 41 años, el 3 de abril de 1973, cuando el directivo de Motorola **Martin Cooper** realizó la primera llamada desde un móvil, fue desde la calle y dirigida a su mayor rival en el sector. Cooper dijo "¿a qué no sabes desde donde te llamo?". La llamada se hizo con un prototipo del Motorola Dyna Tac 8000X, que pesaba 794 gramos, tenía unos 33 centímetros de altura, 4.5 de largo y 8.9 de grosor.[1]

Sin embargo la telefonía móvil empieza a utilizarse a finales de siglo XX en los países nórdicos, su orografía les llevó a buscar una solución para poder comunicarse, eso sí, con precios muy altos. Otros servicios de comunicaciones como el “beeper” y sistemas trunking aparecieron. [2]

Después apareció la **telefonía móvil digital**, con menos problemas que la analógica, lo que fue el principio de la lucha contra la robustez de los dispositivos móviles. Se fueron introduciendo mejoras a los dispositivos móviles como las pantallas a color, las cámaras y sistemas inalámbricos como el bluetooth. El último paso fue llevar el internet a los teléfonos móviles lo que supuso un gran reto para las empresas de servicios telefónicos que luchan por lograr converger sus diferentes tecnologías en una sola infraestructura sustentada en la transmisión de información, trátase de voz, datos, video o audio, mediante IP.

Esto nos ofrece un servicio que hace años no hubiéramos sido capaces de imaginar, se han creado gran variedad de aplicaciones para los dispositivos móviles, desde aplicaciones para enviar imágenes a conocidos, como aplicaciones para solicitar información de transporte público. Gracias a las grandes velocidades de bajada ofrecidas por las compañías telefónicas, y sustentadas por las nuevas tecnologías, es posible hasta ver la televisión en ciertos dispositivos. Todo ello ha sido gracias al gran desarrollo de redes IP.

El gran desarrollo que ha surgido en este ámbito está relacionado claramente a la ley de **la oferta y la demanda**. Aumentó la venta de teléfonos móviles hace años, incluso hay gente que utiliza móvil propio y el de la empresa. Se ha visto gran aceptación de los usuarios en el cambio a dispositivos smartphone capaces de conectar a internet.

Worldwide Device Shipments by Segment (Thousands of Units)			
Device Type	2012	2013	2014
PC (Desk-Based and Notebook)	341,273	299,342	277,939
Tablet (Ultramobile)	119,529	179,531	263,450
Mobile Phone	1,746,177	1,804,334	1,893,425
Other Ultramobiles (Hybrid and Clamshell)	9,344	17,195	39,636
Total	2,216,322	2,300,402	2,474,451
Source: Gartner (December 2013)			

Figura 2. Estadísticas ventas de la agencia Gartner. Fuente:[3]

1.1.1 Servicios de comunicaciones móviles

Dentro del amplio abanico de servicios que nos ofrece las comunicaciones móviles, nos centraremos en describir más a fondo **la telefonía móvil terrestre**, que es el tema que nos compete. Hay otros servicios de comunicaciones móviles como la telefonía vía satélite, las redes móviles privadas, la radio mensajería, la radiolocalización GPS, las comunicaciones inalámbricas...

La telefonía móvil terrestre está formada por una serie de estaciones bases organizadas geográficamente y **jerárquicamente** para ofrecer una comunicación entre dos terminales móviles, estén donde estén. Cada estación tiene un área de cobertura determinado, para que esté diseñada correctamente la red, las áreas entre unas estaciones y otras deberían de solaparse. Debería de realizarse handover entre las estaciones vecinas cuando los terminales se alejen de una estación para que no se caigan las llamadas. El proceso de selección de estaciones vecinas se realiza cuando el nivel de señal no llega a un umbral determinado, y corre el riesgo de disminuir hasta que el terminal no reciba la señal. Para dar una aproximación, un nivel menor a -120 dBm es muy crítico.

Cada estación suele tener un área hexagonal aunque en la práctica se ve de todo. Pueden ser un solo sector omnidireccional, un par de sectores diferenciados 180°, tres sectores cubriendo ángulos de 120° cada uno... Los sectores pueden tener un tilt determinado lo que cambia el alcance del apuntamiento hacia una cierta zona. Cada diseño es diferente según su situación geográfica.

La evolución de los diferentes dispositivos móviles se ha dividido en diferentes generaciones. Los sistemas de primera generación solo transmitían voz y eran analógicos, lo que hacía que fueran de grandes dimensiones en la época. No había muchos teléfonos móviles por lo que el servicio no era tan bueno como el de ahora, lo que significaba que la cobertura muchas veces se veía reducida a metrópolis. NMT se utiliza en los países nórdicos, Holanda, Europa del este y Rusia, AMPS en América del norte y Australia, y TACS en Reino Unido.[4]

La segunda generación, viene determinada por el cambio del analógico al digital, se añade el servicio SMS y se empiezan a transmitir datos pero con velocidades muy limitadas. GSM se implanta en Europa y en otros países del resto del mundo. TDMA y CDMA en EEUU, mientras que PDC en Japón. [2].

Aparecieron los sistemas de generación 2,5, en esta se incluyeron nuevos servicios como el EMS y el MSS, lo que obligó a mejorar la velocidad de transferencia de datos. Se consiguió gracias a que las tecnologías EDGE y GPRS ya que empezaron a utilizar PS, el inicio del uso de IP en la telefonía móvil.

Se dio paso a la tercera generación, lo que produjo un aumento de la velocidad de transferencia de datos comparados con los sistemas anteriores y se estabilizó el PS como forma de transmisión. Se crearon equipos de tercera generación que eran compatibles con los de segunda generación. En la actualidad, la generación 2.5G y la tercera generación de telefonía móvil, son las encargadas de dar cobertura a toda España. UMTS se convirtió en el estándar mundial de telefonía móvil.

La cuarta generación está basada en el uso de IP y en el uso del recurso necesario mediante la modulación adaptativa. Se pasa a transmitir datos y voz mediante PS.

Comparativa de las diferentes generaciones según la tecnología, el servicio SMS y el método de conmutación de voz y de datos:

	Standards	Technology	SMS	Voice Switching	Data Switching
1G	AMPS, TACS	Analog	No	Circuit	Circuit
2G	GSM, CDMA, EDGE, GPRS	Digital	Yes	Circuit	Circuit
3G	UTMS, CDMA2000, HSPDA, EVDO	Digital	Yes	Circuit	Packet
4G	LTE Advanced, IEEE 802.16 (WiMax)	Digital	Yes	Packet	Packet

Figura 3. Comparativa de generaciones móviles

En la actualidad se están instalando equipos más pequeños y eficientes en los que se pueden juntar el 2.5G, 3G y 4G (LTE) y que son adaptables a LTE-A. Estos equipos tienen mayor capacidad por lo que no solo se instala la nueva generación, sino que se puede aumentar el número de portadoras con el objetivo de ofrecer un servicio mejor.

1.1.2 Otros servicios

Telefonía móvil vía satélite: En la telefonía móvil satelital el teléfono conecta directamente con el satélite. Es útil en zonas donde aún no se ha diseñado una infraestructura de telecomunicaciones. La red satelital está dispuesta por un conjunto de satélites que cubren unas zonas determinadas de la tierra. Hay coberturas globales como Iridium, Inmarsat y Globalstar o coberturas regionales como Thuraya y Terrestar. Los dispositivos celulares tienen un mayor tamaño debido a que deben tener una antena, generalmente plegable, para poder transmitir al satélite. El costo de las llamadas es mayor que en una llamada de telefonía móvil normal.

Redes móviles privadas: Este servicio consiste en crear redes aisladas que solo puedan utilizar un número limitado de usuarios. Este tipo de sistemas es utilizado por ejemplo en servicios públicos de transporte, como pueden ser los autobuses o servicios de taxi. En estos sistemas pueden estar capadas las comunicaciones entre los diferentes terminales, por ejemplo entre taxistas.[5] Hay dos tipos de redes móviles privadas:

- En la primera de ellas cada grupo de usuarios utiliza una frecuencia, como sucede en el sistema EDACS.
- En los sistemas troncales (trunking) el sistema se encarga de asignar los canales entre los diferentes grupos, por lo que a cada grupo no se le asigna una frecuencia fija.

Radio mensajería: También llamado paging. Es un sistema que realiza una comunicación unidireccional desde un emisor a un receptor. Los dispositivos son los llamados buscas o beeper según se conocen en América del Sur. Se pueden emitir mensajes numéricos y alfanuméricos. La comunicación es posible gracias a una red de estaciones base terrestres jerarquizada.

GPS: Se trata de una constelación de 24 satélites, divididos en seis planos orbitales lo que permite conocer la posición de un receptor móvil. Al menos 4 de estos satélites tienen visión del receptor en el momento. Hoy en día, en casi todos los coches se puede encontrar un dispositivo GPS capaz de calcular la mejor de las rutas mediante el posicionamiento continuo del coche, con una latitud y longitud exacta. Estas yuxtapuestas a unos mapas cargados en el dispositivo son capaces de realizar tal servicio.[6]

Comunicaciones inalámbricas: Comunicaciones sin cable que dependiendo cual pueda ser su alcance pueden ser WPAN, WLAN, WMAN o WWAN. [7]

- WPAN: Un ejemplo de este tipo de red puede ser el bluetooth o el actual NFC que es una tecnología de corto alcance y alta frecuencia que permite el intercambio de datos entre dispositivos.
- WLAN: Mayor alcance que la anterior. La tecnología asociada a este tipo de red es la tecnología WIFI.
- WMAN: Son redes de alta velocidad que dan cobertura a áreas extensas. Tecnología asociada: WiMax

- WWAN: Son normalmente redes para telefonías móviles, comúnmente para tecnologías como GSM y UMTS.

1.2 Objetivos del proyecto

El **primer objetivo** del proyecto es llegar a conocer los pasos para llevar a cabo un replanteo o una integración de un nodo urbano. Se realizan estos replanteos o integraciones para adaptarse al desarrollo continuo de la tecnología en el ámbito de las comunicaciones móviles y ofrecer un mejor servicio.

El segundo objetivo es comprender las **diferencias** que hay para realizar las medidas entre un nodo urbano y un nodo rural y conocer la forma en la que se realizan estas medidas.

Otro objetivo es estudiar cómo se realizan estos replanteos cuando se requiere mejorar la cobertura en **interiores** como edificios, almacenes o centros comerciales.

El último objetivo del proyecto es proponer **futuras vías** de estudio sobre el campo que es objeto de análisis y ofrecer una visión futura de cómo podría desarrollarse la red móvil en los siguientes años.

1.3 Estructura de la memoria

En este apartado se realiza una descripción de los cuatro apartados en los que se divide la memoria del proyecto.

Este primer apartado es la **Introducción**. En éste se enmarca el proyecto dentro de su marco tecnológico, necesario para entender la evolución de las tecnologías en el mundo de la telefonía móvil.

Posteriormente se explican los objetivos que se quieren conseguir con el desarrollo de éste y las decisiones que se han tomado en su implementación.

El segundo apartado es el de **Integración de un nodo urbano**, donde se expone todo el desarrollo a seguir para la integración de un nodo de cobertura en zona urbana. En los apartados en los que hay parte de diseño se incluyen diferentes soluciones que se adaptan a unas circunstancias u otras. En la parte final de este apartado se han añadido imágenes de medidas de un nodo urbano, obtenidas a partir del procesamiento de señal, para demostrar el correcto funcionamiento de dicho nodo.

El tercer apartado es la **comparación de medidas con un nodo rural**, en el que se da a conocer la forma con la que se realizan las medidas para zonas rurales y se añaden las diversas medidas que se realizan para las diferentes tecnologías.

1. Introducción

En el cuarto apartado trata sobre los **estudios de cobertura indoor**. En este apartado se explica cuáles son los pasos a seguir para realizar un estudio de cobertura en interiores y las diversas soluciones que se pueden tomar para mejorar la cobertura en el interior de un edificio. Se añaden también esquemas verticales y presupuesto de una solución para un edificio en concreto.

Por último tenemos el apartado de **conclusiones y trabajos futuros**, en el que se detallan los objetivos conseguidos, se da una idea de posibles campos de estudio relacionados con este proyecto y una visión general de cómo puede llegar a ser la red de telefonía móvil.

2. INTEGRACIÓN DE UN NODO URBANO

La integración de un nodo requiere esquemáticamente los siguientes pasos:

- **Visual:** Primero se deberá elegir el candidato y el código del nodo y posteriormente se saca información para dicho nodo. Se buscan las coordenadas, y fotografías panorámicas de las zonas a cubrir. También se trata de identificar posibles salidas de transmisión.
- **Replanteo:** Si es una nueva integración se deberá hacer una visita a campo para ver donde se deben instalar los equipos y decidir el tipo de infraestructura que se debe realizar. Si es un replanteo también se debe visitar el remoto de la transmisión para ver lo que tiene el nodo en la actualidad y comprobar la línea de vista, el equipo, la tarjetería necesaria y la necesidad o no de colocación de diplexores, triplexores o combinadores para el nuevo nodo.
- **Plantillas radio y transmisión:** Para la integración del nodo se deben elaborar las plantillas de radio y de transmisión a partir de los datos proporcionados en el replanteo. Para ello se tendrán que elegir ciertos parámetros como SC, BCCH, BCC, NCC, HSN, CID. Además de los parámetros de definición de celda para 2G y 3G, se deberán de definir las vecinas con las que podrá hacer handovers el nuevo nodo.
- **Enrutamiento de la transmisión:** Tras definir el remoto en el replanteo se deberá realizar el diseño del enrutamiento. Si se instala un nuevo PTN habrá que seguir los siguientes pasos:
 - **Gestión de recursos para la instalación:** Para poder instalar el PTN en el enrutamiento, se deberán reservar los recursos necesarios en función del tipo de PTN.
 - **Diseño de la transmisión:** Para conectar el PTN a integrar con el PTN de jerarquía superior de debe elegir una de las posibles soluciones de transmisión.
 - **Solución de gestión:** Se conectarán los diferentes puertos del PTN a la red.
 - **Solución de sincronismo:** Se realizara la solución de sincronismo del PTN que dependerá del tipo de PTN a integrar así como de la solución de transmisión que sea utilizada.
- **Integración Radio:** Se realizará un chequeo de los elementos radio configurados y se contactará con el agente de campo encargado de configurar los equipos. Se realizarán diferentes pruebas para corroborar la correcta configuración del equipo.
- **Implementación de la transmisión:** Se realizará un chequeo de la transmisión configurada y se harán pruebas para que el enrutamiento quede definido correctamente.
- **FT y aceptación:** Se realizan informes posteriores al encendido del nodo para comprobar que el nodo cumple con los requisitos, de no ser así se tomarán medidas de modificación de parámetros, vecinas o revisiones HW hasta que el nodo cumpla los KPI.

2.1 Visual

Lo primero es la elección de un candidato para futuro emplazamiento. Los pasos a seguir serían:

- **Identificación de objetivos de cobertura y localización.** Dependiendo de la zona donde se quiera instalar o replantar el nodo tendrá que cumplir unos criterios u otros. En el caso de nodos dentro de ciudades pueden tratarse de nodos urbanos, nodos urbanos densos o nodos suburbanos.

Para localizar el nodo a replantar, se utiliza un programa, llamado MapInfo, que permite crear capas de los nodos de telefonía con sus diferentes tecnologías y con una latitud y longitud bastante exacta. Por lo que si es necesario replantar el viejo emplazamiento por el nuevo, podemos localizar el lugar donde está el nodo y ver su entorno.

Mediante Google Earth podemos echar un vistazo de la situación geográfica del nodo a replantar. Si se da el caso de que es un nodo nuevo a instalar, se observa la zona donde se desea instalar este nuevo nodo para buscar posibles azoteas o lugares donde se pueda instalar.

- **Identificación de estaciones del mismo operador.** Se debe buscar un nuevo código para nombrar el nuevo nodo, bien sea a replantar o a instalar. Para ello se debe buscar un código para el candidato que no coincida con otros nodos ya existentes o que estén también en el proceso de integración.
- Por último, la **visita a campo**. Se deberá recopilar información del candidato, dirección completa, coordenadas, fotografías panorámicas y de las zonas a cubrir. También se tratará de identificar posibles salidas de TX...

Con esta información se elabora el informe de visual con los datos sacados de la visita de campo.

2.2 Replanteo

Si es una nueva integración se deberá hacer una visita a campo para ver donde se deben instalar los equipos y decidir el tipo de infraestructura que se debe realizar. Si es un replanteo también se debe visitar el remoto de la transmisión para ver lo que tiene el nodo en la actualidad y comprobar la línea de vista, el equipo, la tarjetería necesaria y la necesidad o no de colocación de diplexores, triplexores o combinadores para el nuevo nodo.

Se valorará lo que se necesita y se realizará el pedido del equipo en el cual se incluya el tipo de bastidor, las necesidades de HW de banda base, las necesidades de Unidad de Radio y

su modelo, especificando la potencia que soportará , las portadoras que tendrá, los TRX, los CE UL y DL, los usuarios HS, las licencias...

Toda esta información se cargará en las BBDD, en este caso GIS, para poder sacar los FSC de cada tecnología. Un FSC es un resumen final que se saca del candidato.

Para hacer el FSC hay que definir la información en las BBDD de diversos campos:

- **Nominal común:** En este campo se cumplimenta la información general como la provincia en la que se encuentra el nodo, la fecha en la que se empieza a realizar el replanteo y la evaluación de este.
- **Emplazamiento Nominal:** Se rellena la información general e información adicional referentes a cada tecnología.
- **Candidato Común:** Tras tener todos los emplazamientos nominales de cada tecnología rellenos, se rellenan los datos de la ubicación exacta del candidato con su latitud y longitud y las diferentes tecnologías que se van a integrar.
- **Nuevo Equipo:** Se cumplimentan los datos del equipo que se ha replanteado como el bastidor, las tarjetas o las potencias.
- **Configuración Candidato:** Se rellenan los datos de la configuración de cada tecnología. No todas las tecnologías tienen que estar en el mismo bastidor ni utilizar los mismos equipos. El nodo puede tener una solución compacta por ejemplo y utilizar el mismo equipo para GSM900 y UMTS900 o bien pueden utilizar equipos diferentes que estén distribuidos en las diferentes partes de una azotea.
- **Sectores Candidatos:** Se deben rellena todos los datos de configuración de los sectores para dicha tecnología. Datos como el azimut, los TRX utilizados para el 2G, las portadoras utilizadas para el 3G, las diferentes antenas, los downtilt de estas, las alturas a las que se ponen las antenas, el tipo y la longitud de cable que une las antenas con el equipo, las infraestructura donde se han instalado los equipos...[8]

2.3 Plantillas radio y TX

Para la integración del nodo se deben elaborar las plantillas radio y transmisión a partir de los datos proporcionados en el replanteo y otros datos que debemos obtener. El resto de datos para el diseño del nuevo nodo los obtendremos usando el programa MapInfo y los export. Con ellos podremos sacar las **vecindades** que habría que definir y ciertos **parámetros** de definición de celda como SC, BCCH, BCC, NCC, HSN, CID... [9]

De **Mapinfo** sacamos las vecindades que hay que definir necesariamente para que el nodo pueda realizar handovers con otros nodos de la zona. Mapinfo es un programa en el que se pueden intercalar varias capas. Se toma el mapa de España como capa base y encima de ella se crean diferentes capas con las diferentes tecnologías, localizaciones y orientaciones de cada nodo, por lo que tendremos un mapa con todos los sectores de cada tecnología de cada nodo para poder sacar las vecindades de dicho nodo.

De los **export**, donde está cargada la información de toda la red, extraemos información del resto parámetros de las vecinas de nuestro nodo, para poder así definir los parámetros de

2. Integración de un nodo urbano

este y evitar las colisiones con los nodos colindantes que vamos a definir. Con esto se elaborarán ficheros de carga 2G y 3G.

Para las plantillas 2G:

- Definición de parámetros de celda 2G. Los principales son: BCCH, BCC, NCC, HSN, BSC en la que defino mis celdas 2G y CID.
- Vecindades directas de mi 2G a mis vecinas 2G.
- Vecindades reciprocas de mis vecinas 2G a mi 2G.
- Definición de celdas 2G para vecindades entre diferentes BSC.
- Vecindades directas de mi 2G mis vecinas 3G.
- Definición de vecinas 3G para vecindades en mi BSC.
- Vecindades reciprocas de mis vecinas 3G a mi 2G.
- Definición de mi 2G en RNC donde se quiere realizar la vecindad 3G2G.
- Vecinas de mi 3G con vecinas 2G y 3G de otros operadores.
- Definición de vecinas 2G y 3G de otros operadores.
- Parametrización especial para el salto de las celdas 2G al 3G.
- Parámetros GPRS.
- Configuración de los TRX.

Para las plantillas 3G:

- Definición de parámetros de celda 3G. Los principales son SC, RNC donde defino mis celdas 3G y CID.
- Vecindades directas de mi 3G a mis vecinas 3G.
- Vecindades reciprocas de mis vecinas 3G a mi 3G.
- Definición de celda 3G para vecindades entre diferentes RNC.
- Vecindades directas de mi 3G a mis vecinas 2G.
- Definición de vecinas 2G para vecindades en mi RNC.
- Vecinas reciprocas de mis vecinas 2G a mi 3G.
- Definición de mi 3G en BSC donde se quiere realizar la vecindad 2G3G.
- Vecinas de mi 3G con vecinas 2G y 3G de otros operadores.
- Definición de vecinas 2G y 3G de otros operadores.
- Relaciones de vecindad cosector del nodo con parametrización especial. Vecindades entre sectores de diferentes tecnologías 3G de un mismo nodo.
- Plantillas para la definición de las IP de transmisión.

Se cargarán los datos en la red y posteriormente se realizará un chequeo de la carga para comprobar que es correcta, de no ser así habrá que enviar ficheros de corrección para dejar cada celda correctamente cargada.

2.4 Enrutamiento de la TX

Hay varios diseños de enrutamientos, se describirán a grandes rasgos los principales enrutamientos que se realizan.[10]

- **IP MLPPP:** Multilink Point to Point Protocol. Transmisión a nivel de E1 (2048 kbps) hasta llegar al PTN POC, punto desde el cual se usan los túneles LSP, para llegar hasta el PTN POP encargado de conectar con la BSC en el caso de 2G y con la RNC en el caso de 3G. Un túnel LSP es un camino que une dos PTN.

En cuanto al direccionamiento a utilizar, hay que realizar la conexión entre las diferentes tarjetas utilizadas para cada tecnología y la SIU. Para GSM se utilizan tarjetas DUG, para UMTS se utilizan tarjetas DUW, y para LTE y las dos anteriores, tarjetas DUL.

En la conexión DUW-SIU se definirán 2 subredes /30 por si posteriormente se añaden otras tarjetas, y 2 VLAN, diferenciando 3G Iub para la transferencia de datos 3G y 3G Mub para la señalización 3G. Por otra parte el tramo DUG-SIU se conectará por TDM.

En cuanto a la parte WAN, se especificará una subred /30 para el MLPPP entre SIU y PTN POC.

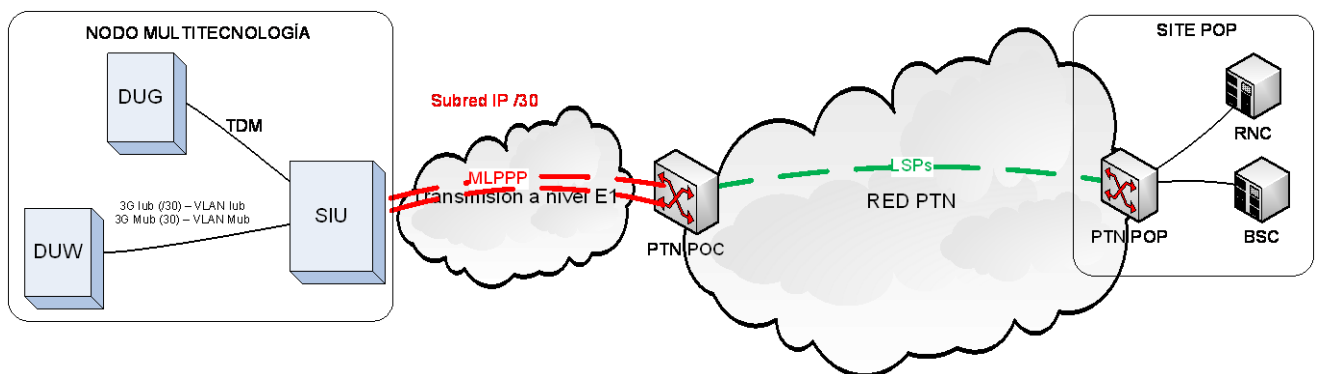


Figura 4. Enrutamiento MLPP

- **IP Ethernet PMW:** Transmisión a nivel Ethernet a través de la red de PMW y PTN. El direccionamiento DU-SIU es equivalente a la solución MLPPP, la diferencia se encuentra en la parte WAN, ya que se definirán subredes específicas para cada servicio 2G, 3G Iub y 3G Mub entre SIU y PTN POC. Por eficiencia, se tiende a asignar subredes con una máscara inferior para cada POC y servicio, de tal manera que si posteriormente se integra un nuevo nodo sobre el POC, se utilizará una IP disponible dentro de las subredes ya definidas:

2. Integración de un nodo urbano

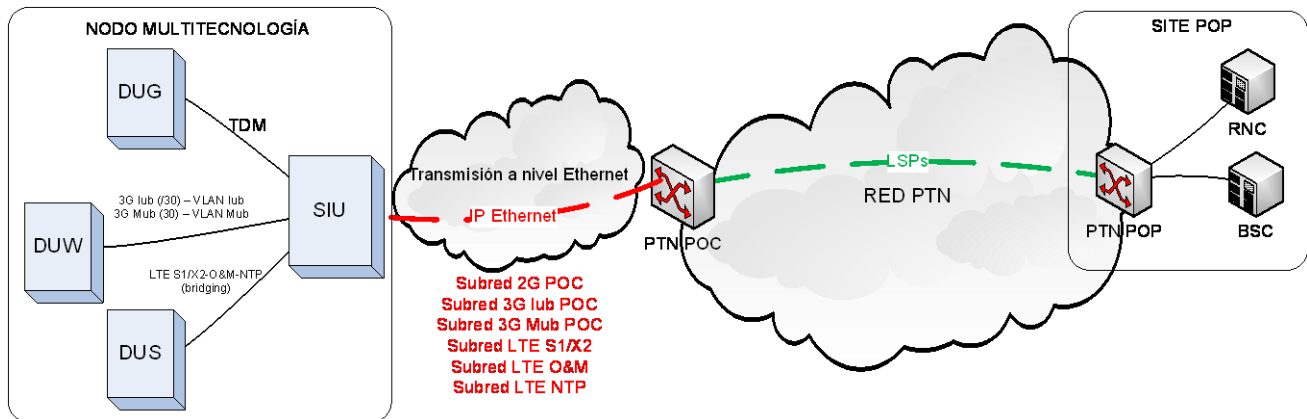


Figura 5. Enrutamiento IP Ethernet PMW

- **FTTN.** Se instala un PTN en el sitio a integrar y la transmisión irá por fibra óptica. En estos casos ya no es necesario tener un punto remoto para la TX ya que se instala en el propio nodo el PTN.

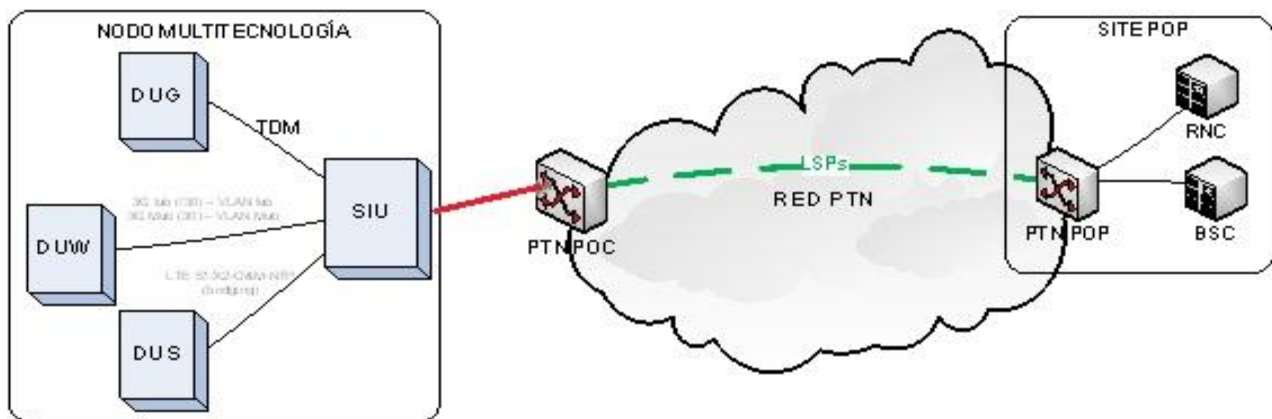


Figura 6. Enrutamiento FTTN

Hay varios tipos de PTN los cuales se diferencian unos de otros en la capacidad de tráfico que pueden soportar. Normalmente se instala un PTN910 como primera salida del nodo. Los más utilizados son PTN 910, 1900, 3900-8 y 3900. La integración de un nuevo independientemente del tipo de PTN conlleva las siguientes tareas:

2.4.1 Gestión de recursos para la instalación

Para poder instalar el PTN, se deberán reservar los **recursos** necesarios en función del tipo de PTN. Estos recursos se pueden resumir en:

- Espacio en rack para la instalación del PTN. El rack es el soporte físico en el que se mete el equipamiento electrónico, informático y de comunicaciones. Las medidas están normalizadas para que sean compatibles con equipos fabricante. También son llamados bastidores, cabinas o armarios. Se medirá el número de unidades de rack y en caso de no haber hueco se deberá instalar el bastidor correspondiente.[11]
- Repartidores para el cableado de las tarjetas tanto a nivel eléctrico como óptico.
- Disyuntores disponibles para la alimentación del PTN, en función del tipo de PTN el amperaje de estos disyuntores es diferente.

Se diferencian 2 situaciones en función del emplazamiento donde se requiere la integración del nuevo equipo:

- Emplazamiento dentro de cobertura GRIET: De ser así se ha de realizar la solicitud de recursos GRIET correspondientes.
- Emplazamiento fuera de cobertura GRIET: En este caso se deberá gestionar una visita al emplazamiento para verificar los recursos disponibles para la nueva integración.

Una vez obtenidos los recursos ya es posible realizar el inventariado en las bases de datos del PTN junto con los cableados a los repartidores de cada una de sus tarjetas.

2.4.2 Diseño de la Transmisión

Para conectar el PTN a integrar con el PTN de jerarquía superior se pueden dar varias soluciones de transmisión:

- **Fibra óptica dedicada:** La mejor alternativa serían 2 rutas de fibra óptica dedicada para el PTN. Estas conexiones de fibra habitualmente están formadas por anillos de First Mile y Middle Mile, de tal manera que cada ruta transcurre por una rama del anillo con rutas disjuntas. Durante la fase de diseño, cada ruta tendrá asociada una PLC en la base de datos, donde se indican los plots de repartidor de cada uno de los extremos, esta ruta posteriormente se insertará en el camino correspondiente con los puertos de los equipos a interconectar, con lo cual se obtendrá una orden de trabajo con los parcheos a realizar en campo por los técnicos en cada nodo.

2. Integración de un nodo urbano

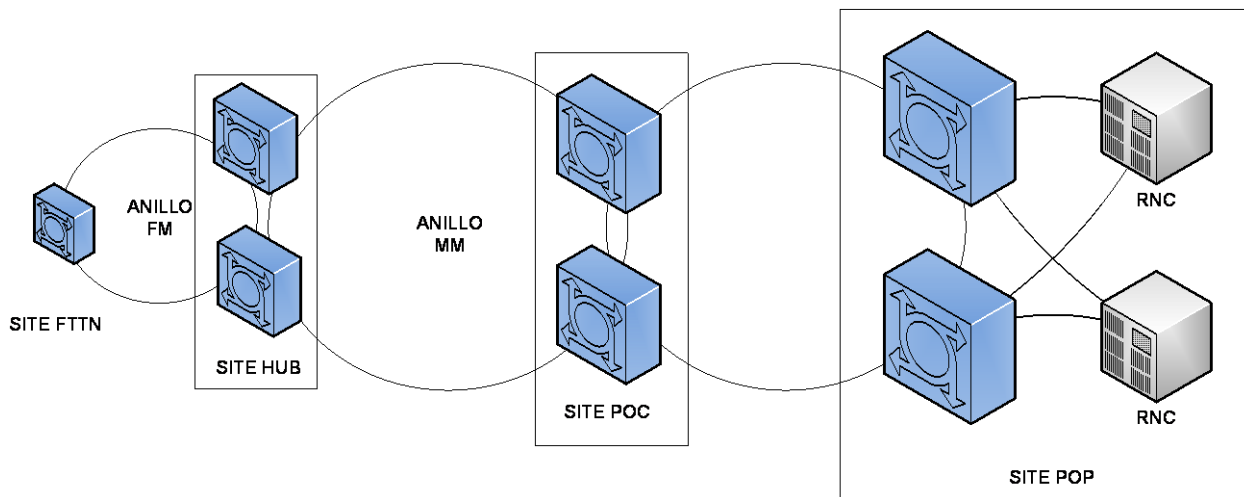


Figura 7. Anillos FM y MM.

- **Ethernet over SDH:** Aprovechando la red SDH actual, se puede configurar las conexiones Ethernet entre PTN a través de los anillos de fibra de la red de ADM, para lo cual el anillo debe tener capacidad para soportar el servicio Ethernet a configurar. De igual manera en las bases de datos se deben crear los correspondientes caminos Ethernet en cuya ruta se insertarán los recursos de la red SDH.

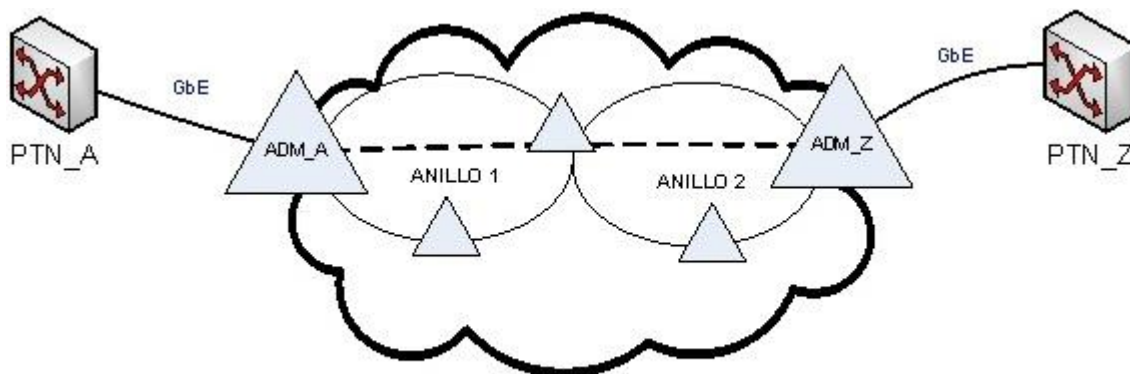


Figura 8. Anillos ADM

- **Ethernet a través de MW Ethernet:** Otra alternativa es utilizar los vanos Ethernet entre PMW para configurar las rutas del PTN en cuestión. Para ello, se conecta el PTN al equipo PMW local a partir del cual se configura una VLAN determinada a través de toda la ruta de vanos hasta llegar al nodo destino, lugar donde se encuentra el PTN de jerarquía superior. Típicamente será necesario configurar una protección LAG PMW-PTN para el tráfico First Mile con el fin de obtener mayor capacidad de tráfico en los enlaces, ofrecer redundancia o protección en caso de fallo de uno de los enlaces y balancear el tráfico para evitar congestión.

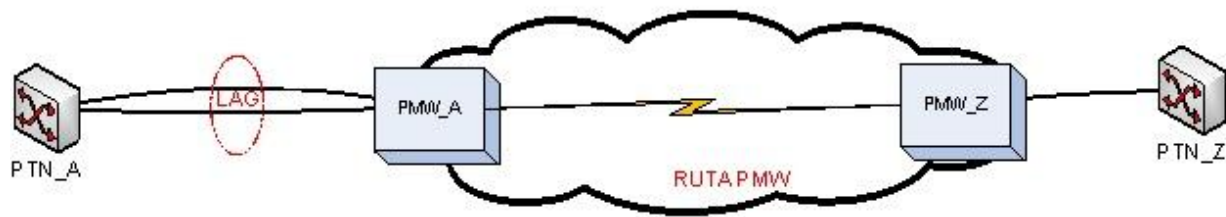


Figura 9. Ethernet vía MW Ethenet

En este caso, en las bases de datos, se deberá crear el túnel entre los equipos PMW con cada uno de los vanos Ethernet e insertarlo en el camino E2E entre PTN.

2.4.3 Solución de gestión

La gestión del PTN se realizará bajo solución LOOP-DCN, para lo cual son necesarias las siguientes acciones:

- Realizar un bucle en el PTN entre un puerto Fast Ethernet eléctrico y el puerto de O&M para poder detectar fallos en los túneles LSP. Para ello los puertos del PTN deben tener habilitado la DCN.
- Configurar el PW de gestión sobre el túnel que llegue hasta el PTN POP que esté interconectado con el switch de gestión.
- Se deja la 2ª ruta del PTN como backup de gestión por si hubiera algún problema con la ruta principal, o por si el bucle Fast Ethernet local fallase.
- En el PTN POP será necesario configurar la LAN correspondiente ya que no habrá un solo PTN de acceso.

En el emplazamiento POP se configurará protección VRRP para interconectar los PTN POP con la red de gestión.

2. Integración de un nodo urbano

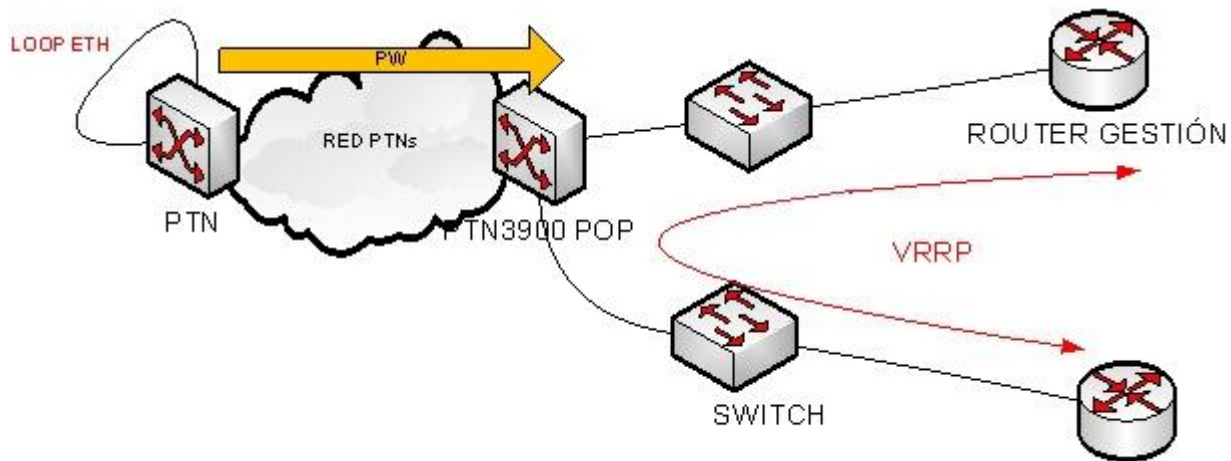


Figura 10. Solución de gestión del PTN.

A tener en cuenta que se definirán parámetros lógicos para el PTN tales como la IP de gestión dentro de la subred de gestión definida en el correspondiente router de gestión.

Todos estos parámetros lógicos serán inventariados en la BBDD al igual que en el resto de casos.

2.4.4 Solución de sincronismo

La solución de sincronismo del PTN dependerá del tipo de PTN a integrar así como de la solución de transmisión que sea utilizada.

Es necesario comprender como funciona la sincronía de una red. Dentro de una red hay varios relojes y dentro de la red puede haber una o varias referencias de reloj. En las redes síncronas los relojes tienen la misma referencia de reloj, la transición digital de señales ocurre a la vez.

Nos encontramos con señales pleosíncronas, cuando dos redes están conectadas y sus relojes están derivados de diferentes referencias de reloj. Aunque estos relojes son extremadamente exactos, esta es la diferencia entre un reloj y otro. Asíncronía en este caso significa que la diferencia entre dos relojes es mayor.

En el caso que nos atañe la solución de sincronismo es jerarquizada ya que así es la estructura de la red. La sincronía está jerarquizada prioritariamente entre los nodos de los relojes de más alto nivel y los nodos de reloj de menor nivel. Todos los nodos pueden ser montados a la fuente de **referencia primaria** con una muy alta estabilidad y exactitud. En el caso de los relojes menos estables son adecuados para soportar nodos más bajos[12].

La solución de sincronismo depende también en gran medida de la solución de transmisión ya que no es lo mismo un escenario en el que los PTN estén conectados por fibra óptica dedicada que realizar la transmisión a través de SDH con tarjetas ISA que en este caso es necesario sincronizar siempre mediante fuente externa de 2 MHz debido a que las tarjetas ISA no propagan el sincronismo Ethernet.

2.5 Integración Radio

Una vez realizado el replanteo del equipo en cuestión y el diseño oportuno, procedemos a la implementación radio. Se realizará un **chequeo** de los elementos radio configurados:

- Los TRX configurados deben coincidir con el diseño. Importante este hecho, puesto que podemos afectar a la capacidad del nodo.
- Parametrización de celdas. Cada operador conlleva unos parámetros radio diferente, chequearemos que éstos corresponden al diseño especificado.
- Potencias definidas en todas las celdas para las diferentes tecnologías. La potencia vendrá definida según el replanteo realizado.
- Unidades remotas radio. Según el emplazamiento serán necesarias RRU o RFU.

Llegado el **día de la integración** será necesaria la comunicación entre la gente de campo y el equipo de operaciones para la integración del equipo. Pasos a seguir:

- El técnico deberá de crear la configuración del equipo.
- Se deberá hacer una supervisión remota del trabajo de campo.
- Realizar el chequeo del sistema radiante, test de ROE y conexión de fibras en unidades radio remotas.
- El técnico deberá realizar una comparación del Hardware instalado respecto al diseñado.
- Se hará un Troubleshooting de alarmas de equipo. Se probará el nodo para ver que las alarmas de este saltan en caso de problemas.
- Cargar las vecinas creadas en el diseño.
- Chequear de los primeros KPI y buen funcionamiento de celdas integradas.

2.6 Implementación TX

Para la parte de implementación, se revisará si los datos recibidos en el diseño son coherentes. Los pasos a realizar en la implementación depende de la transmisión diseñada. Veremos los pasos a seguir para los tres tipos de transmisiones que hemos visto anteriormente. Los pasos son parecidos en las tres pero hay alguna diferencia.

Para IP MLPPP habría que seguir los siguientes pasos:

- Chequear disponibilidad en recursos de TX.
- Crear servicios o habilitar puertos en los equipos de TX.
- Configurar ML-PPP, túneles, APS, rutas estáticas y puertos en PTN.
- Bascular el tráfico por puertos si hay que liberar recursos.
- Etiquetado de servicios E2E.
- Soporte a técnicos de campo, durante la constitución de los E1s.
- Chequear alarmas previas y habilitar alarmas de nuevos E1s el día de la integración en los equipos de TX.
- Cuando la ruta del E1 está finalizada, es necesario comprobar que el tráfico saliente es igual al tráfico recibido en PTN.

2. Integración de un nodo urbano

- Realizar pruebas de Troubleshooting entre el nodo y el PTN POC.

Para la configuración IP Ethernet PMW se realizarán los siguientes pasos:

- Chequear disponibilidad de recursos PMW y PTN.
- Habilitar puertos del PTN.
- Configurar LAG, túneles, APS, rutas estáticas y puertos en PTN.
- Bascular el tráfico por puertos si hay que liberar recursos.
- Soporte a técnicos de campo durante los cableados.
- Chequear alarmas previas y habilitar alarmas en PTN el día de la integración.
- Realizar pruebas de PING una vez la TX este interconectada entre el nodo y PTN POC, para comprobar la continuidad de los servicios.
- Realizar pruebas de Troubleshooting entre el nodo y el PTN POC.

Para la configuración FTTN se realizarán los siguientes pasos:

- Chequear disponibilidad de recursos en PTN.
- Configurar LAG, Túneles, APS, rutas estáticas y puertos en PTN.
- Bascular el tráfico por puertos si hay que liberar recursos.
- Soporte a técnicos de campo durante los cableados.
- Comprobación E2E de la fibra aceptada mediante tests en túneles de prueba.
- Chequear alarmas previas y habilitar alarmas en PTN el día de la integración.
- Realizar pruebas de ping una vez la TX este interconectada entre el nodo y PTN POC, para comprobar la continuidad de los servicios.
- Realizar pruebas de Troubleshooting entre el nodo y el PTN POC.

2.7 FT y aceptación

Después de que se implemente la TX e integre el nodo, se pondrá el nodo **on-air** y se tendrá que revisar que cumpla los KPI de referencia que exige el operador para corroborar su correcto funcionamiento. Los requisitos de KPI que tiene que cumplir un nodo para **2G** son cumplir un porcentaje máximo de caídas y bloqueos, y cumplir un porcentaje mínimo de accesibilidad y éxito en los HO. A continuación muestro una referencia de lo que podrían ser los requisitos mínimos de un operador cualquiera.

Tabla 1. KPI que tiene que cumplir el 2G del nodo.

2G	KPIs
DROP	<3%
BLOCK	<1%
CSSR	>95%
SUCCESS HO	>97%

Para **3G** los requisitos que tiene que cumplir el nodo son un porcentaje máximo de caídas de voz y de datos, y un porcentaje mínimo de accesibilidad para datos y voz.

Tabla 2. KPI que tiene que cumplir el 3G del nodo.

3G	KPIs
DROP CS	<2%
DROP PS	<5%
CSSR CS	>96%
CSSR PS	>95%

Si el nodo tiene malos KPI y se salen mucho de los rangos establecidos el nodo debe de apagarse. Transcurrida una semana, si los KPI cumplen se tendrá que elaborar un informe de aceptación. De no ser así se entrará en período de First Tuning, **FT**, en el cual hay que conseguir que el nodo cumpla con los KPI de referencia. Para ello se pueden realizar varias acciones, entre otras:

- Ajuste de vecindades que no se habían tenido en cuenta en la fase de diseño.
- Ajuste de parámetros para mejorar tanto accesibilidad como caídas.
- Cambio de down-tilt o de potencia de transmisión si el nodo está sufriendo sobrealcance.
- Aumento de capacidad del nodo si está sufriendo congestión.
- Revisar posibles alarmas.

2. Integración de un nodo urbano

Cuando la estación cumpla los KPI se deberán realizar unas medidas, normalmente realizadas con el coche, para completar el **informe de aceptación** para cada tecnología con el fin de tener una prueba de que el nodo se ha instalado correctamente. En las medidas se deberá realizar un mallado de las zonas que son objetivo de cobertura en las tecnologías integradas, comprobando que los niveles de señal y calidad son adecuados, cursa llamadas con normalidad y realiza descargas de datos de forma satisfactoria.

2.7.1 Informe de aceptación de 2G de un nodo urbano

En dicho informe se deberán incluir datos de la estación a aceptar como las tecnologías que tiene el nodo, el suministrador del equipo, si es una macro o una micro con sus respectivos sectores, y el tipo de entorno.

Se debe verificar que un **90%** de las muestras recogidas en el drive test sobrepasen el umbral de nivel de señal que exige el operador dependiendo del entorno del nodo. Una referencia de un operador cualquiera sería la siguiente:

Tabla 3. Niveles de potencia umbral para el 2G.

Entorno	Nivel Mínimo Recibido	Cobertura
Urbano denso	-64 dBm	Interior de edificios en zona urbana densa
Urbano	-70 dBm	Interior de edificios zona urbana
Suburbano	-78 dBm	Interior de edificios en zona suburbana
Carretera en área rural	-82 dBm	Coche
Rural	-90 dBm	Exterior, Zona rural
Marginal	- 95 dBm	Cobertura de alta sensibilidad

Se debe de realizar un plot para comprobar si los sectores tienen las frecuencias en la orientación correcta en cada sector ya que a cada sector se le asigna una frecuencia fija y cada sector tiene una cierta orientación. Lo que se comprueba con este plot es que una frecuencia esté mal asignada, fuera del espectro de frecuencias asignado o que se encuentren cruzadas las frecuencias entre los sectores de un mismo nodo.

Se realiza también un plot de los niveles de potencias por la zona para comprobar posibles zonas donde los niveles de señal del nodo lleguen con menos nivel del que deberían.

A continuación se muestran los plots de las **frecuencias** y de los **niveles de potencia** de un determinado nodo urbano denso:

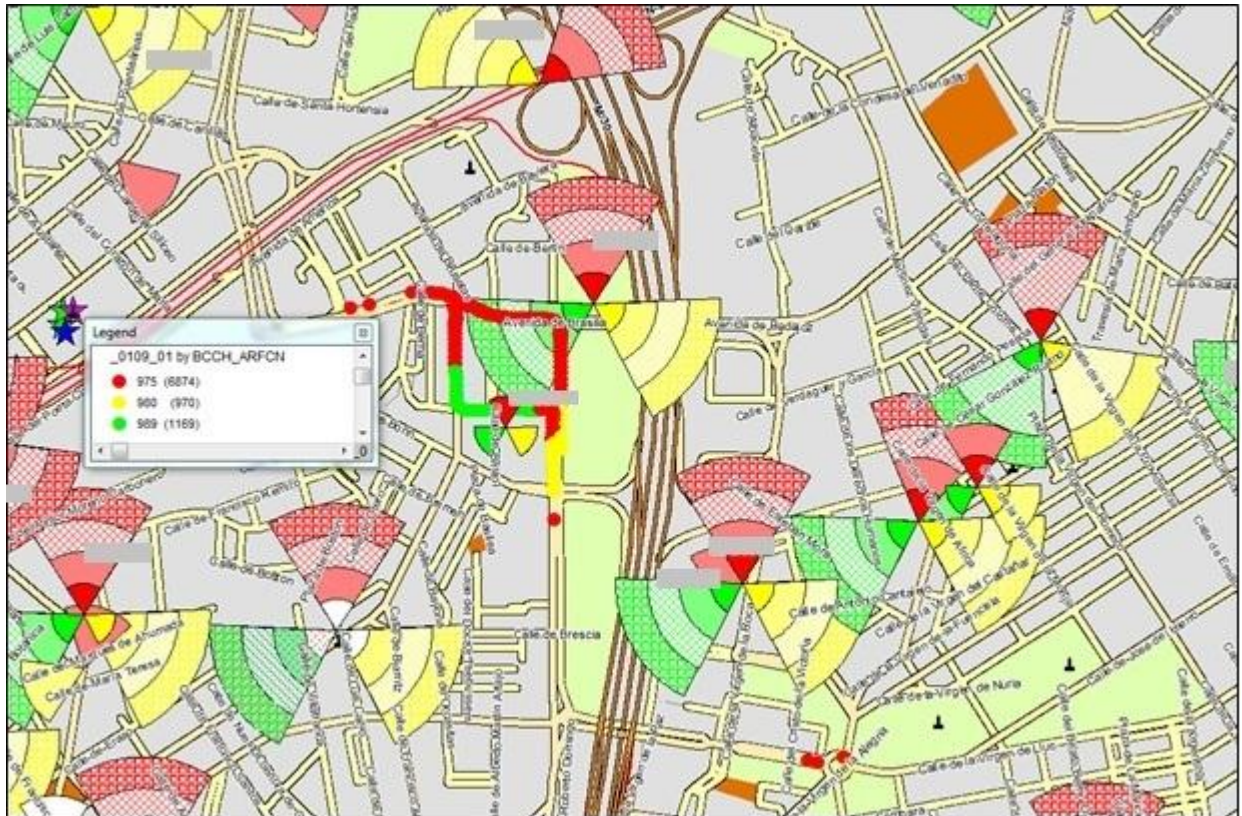


Figura 11. Target BCCH Map de un nodo urbano denso.

2. Integración de un nodo urbano

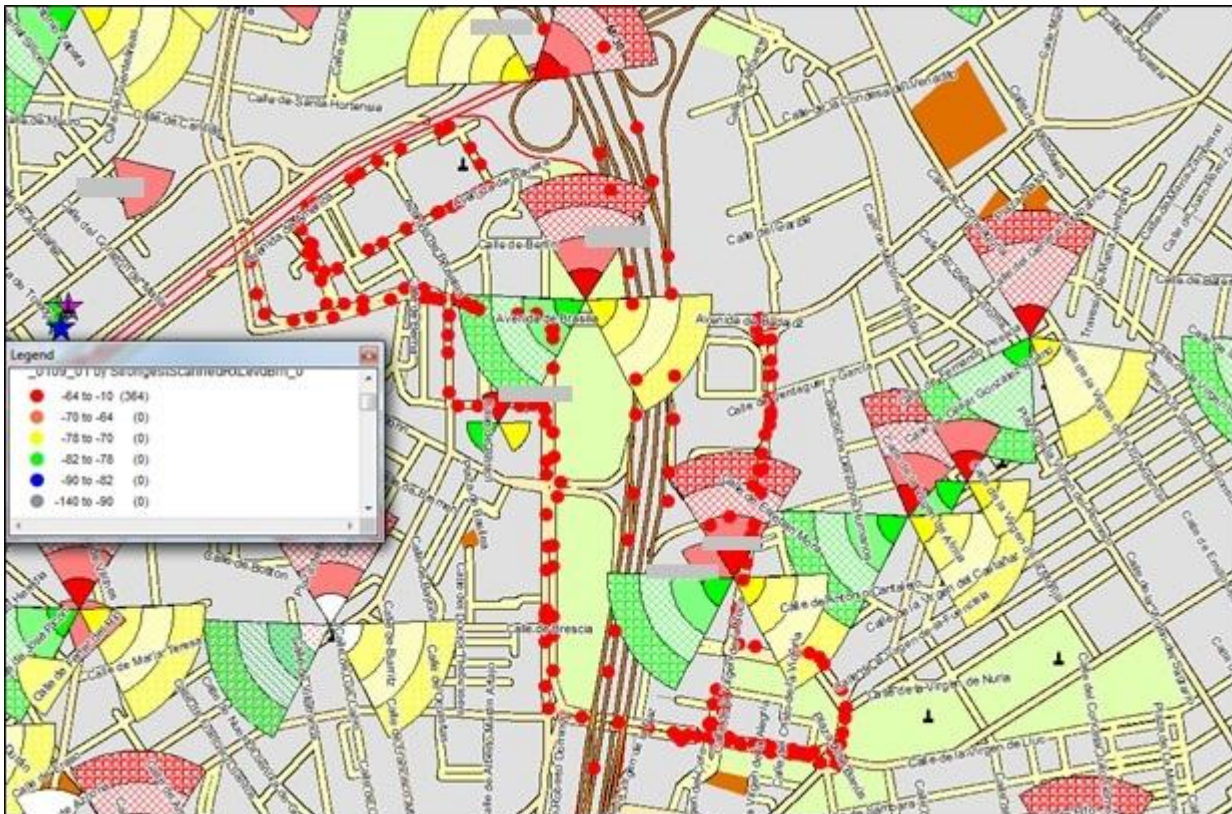


Figura 12. Target RX Level Map de un nodo urbano denso.

Posteriormente se deberá justificar el nivel de calidad de la estación con los KPI de los últimos 5 días. Tiene que cumplir KPI de drop, block, CSSR y success HO todo el rango de días.

Posteriormente, se realiza una **comparación** de los promedios de los KPI de las vecinas de la semana anterior y posterior a la integración del nodo. Esto se realiza para ver la repercusión que ha tenido el nodo en la zona. Una referencia de las desviaciones con respecto al entorno considerada podría ser que las desviaciones sean menores a un 5% en el caso de drop, 10% para block y CSSR y 20% en el caso de HO.

Por último se certifica, en base a los valores medidos y registrados en el documento de aceptación, que la estación presentada cumple con los requisitos de cobertura y calidad exigidos.

2.7.2 Informe de aceptación de 3G de un nodo urbano

Del mismo modo que en 2G se deberán incluir en el informe datos de la estación a aceptar como las tecnologías que tiene el nodo, el suministrador del equipo, las orientaciones de sus sectores, y el tipo de entorno.

Se debe verificar que un 90% de las muestras recogidas en el drive test sobrepasen el umbral de **nivel de señal** y de **EcIo** que exige el operador dependiendo del entorno del nodo. Una referencia de un operador cualquiera sería la siguiente:

Tabla 4. Umbrales de potencia y EcIo para el 3G.

Entorno	Nivel Mínimo Recibido	EcIo
Urbano denso	-73 dBm	≥ 15
Urbano	-79 dBm	≥ 15
Suburbano	-88 dBm	≥ 15
Vehicular	-95 dBm	≥ 15
Rural	-103 dBm	≥ 15
Marginal	Sin umbral	< 15

Se debe de realizar un plot para comprobar si los sectores tienen el scrambling code perteneciente en la orientación correcta. Lo que se comprueba con este plot es que un SC esté mal asignado, o que se encuentren cruzados los sectores.

Se realiza también un plot de los niveles de potencias por la zona para comprobar posibles zonas donde los niveles de señal del nodo lleguen con menos nivel del que deberían.

A continuación se muestran los plots de **SC** y de los **niveles de potencia** de un determinado nodo urbano denso:

2. Integración de un nodo urbano

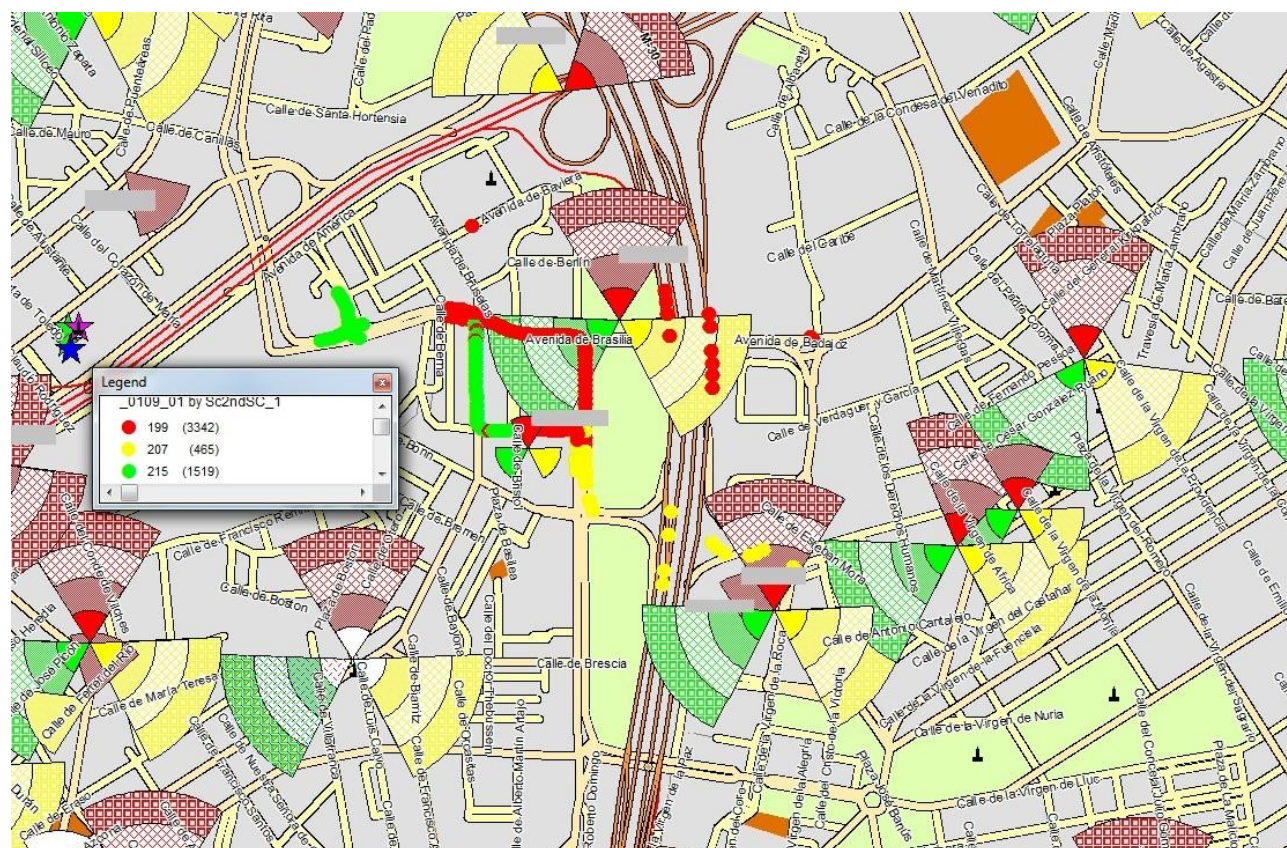


Figura 13. Target SC Map de un nodo urbano denso.

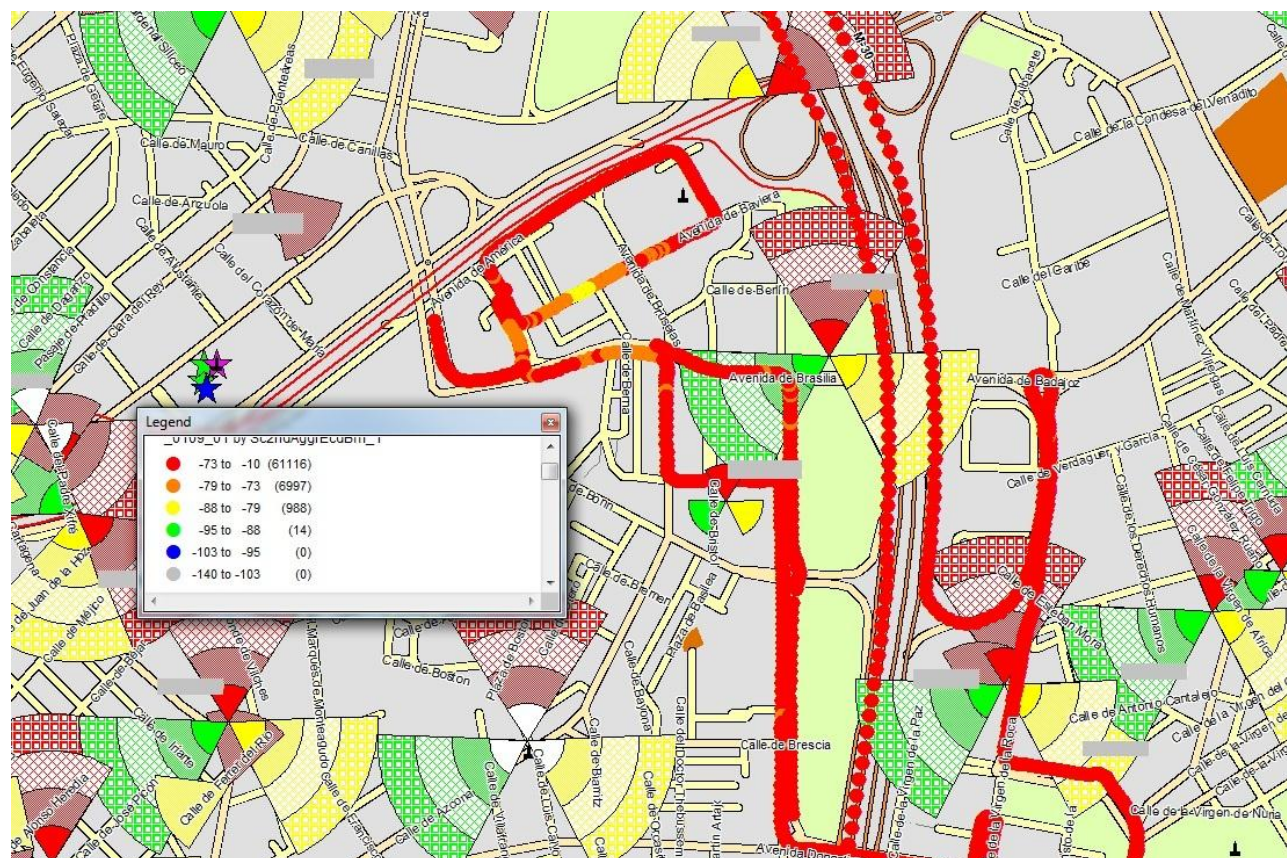


Figura 14. Target RSCP Map de un nodo urbano denso.

Posteriormente se deberá justificar el nivel de calidad de la estación con los KPI de los últimos 5 días. Tiene que cumplir KPI de drop CS, drop PS, CSSR CS y CSSR PS todo el rango de días.

A continuación, se realiza una comparación de los promedios de los KPI de las vecinas de la semana anterior y posterior a la integración del nodo. Esto se realiza para ver la repercusión que ha tenido el nodo en la zona. Una referencia de las desviaciones con respecto al entorno considerad podría ser que las desviaciones sean menores a un 5% en el caso de drop, 10% para CSSR.

Por último se certifica, en base a los valores medidos y registrados en el documento de aceptación, que la estación presentada cumple con los requisitos de cobertura y calidad exigidos.

3. COMPARACIÓN DE MEDIDAS CON UN NODO RURAL

Del mismo modo que se realizan las medidas de aceptación en un nodo urbano también se realizan en zonas rurales. En este caso las medidas se realizan **siempre** en coche mediante un **scanner**, un **portátil** y unas **antenas**. Es lo que se llama un drive test.

Se instala en el coche el scanner conectándolo a un ordenador, se estudian las orientaciones y tecnologías del nodo para realizar el estudio de una forma correcta y se acude a la localización del este.

A continuación se muestran imágenes de un coche de DT con todas sus partes totalmente instaladas:



Figura 15. PC para realizar DT.

3. Comparación de un nodo urbano con un nodo rural



Figura 16. Scanner para realizar DT.



Figura 17. Antenas para realizar DT.

3. Comparación de un nodo urbano con un nodo rural

Una vez elegidas las carreteras por las que se puede mover el coche para coger muestras de cada sector se empieza el DT y cada determinados metros se van realizando “toques” para el caso del GSM y DCS, y se realizan intentos de conexiones de datos y llamadas para medir el UMTS.[13]

A continuación se muestran las medidas de un DT para un determinado nodo. Hay unas medidas necesarias y otras que nos ayudan a conocer el entorno del nodo.

Las medidas principales son las siguientes:

- **Target BCCH:** Medida realizada para el 2G. Se buscarán las frecuencias de cada sector en las orientaciones oportunas.

Si no encontramos por ejemplo una frecuencia que se había definido para determinado sector esto nos indicaría que hay algún fallo, mayormente son fallos HW ya que el proceso de diseño debería de haber sido revisado anteriormente.

Otro caso típico es encontrar la mayoría de las muestras de una frecuencia de un sector en una orientación que no se corresponde con este sector y las muestras de la frecuencia del otro sector en la orientación del anterior. En este caso el problema reside a un cruce de sectores debido al cruce de las bocas de cada sector, de nuevo otro fallo HW.

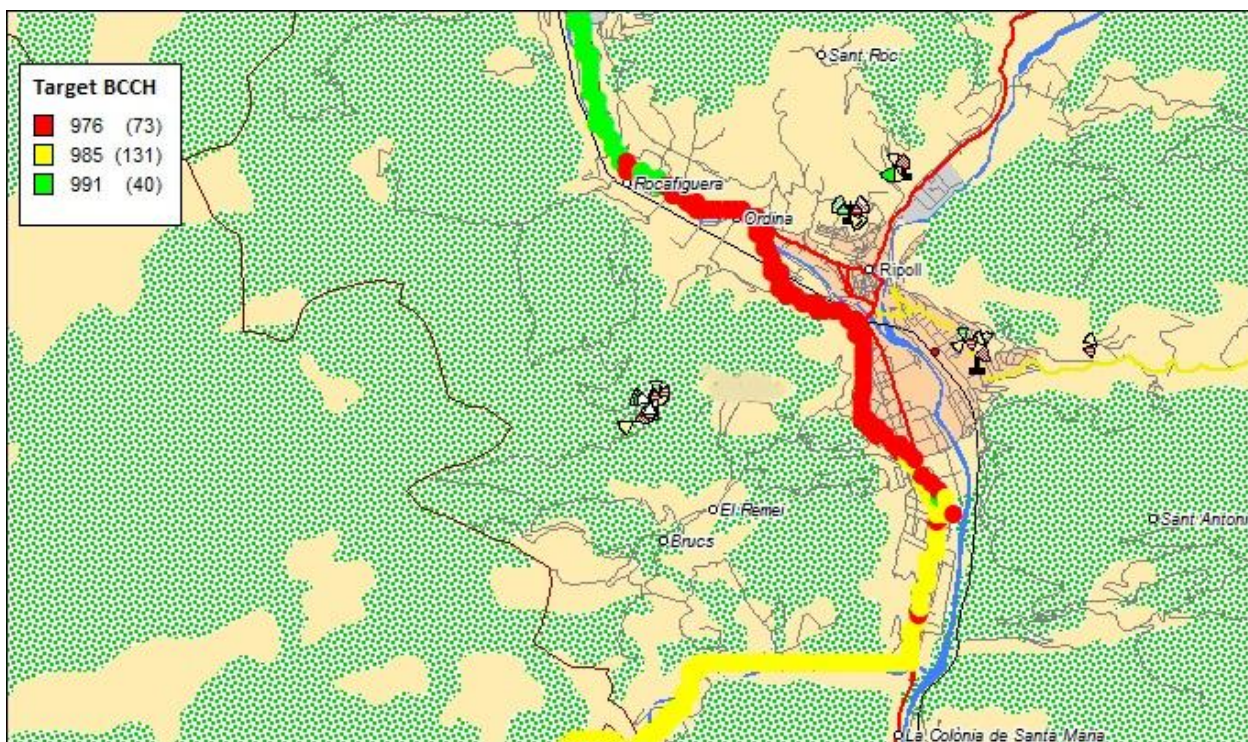


Figura 18. Target BCCH Map.

3. Comparación de un nodo urbano con un nodo rural

- **Target Scrambling Code:** Medida realizada para el 3G. En este caso se buscarán los códigos asignados a cada sector en las orientaciones oportunas.

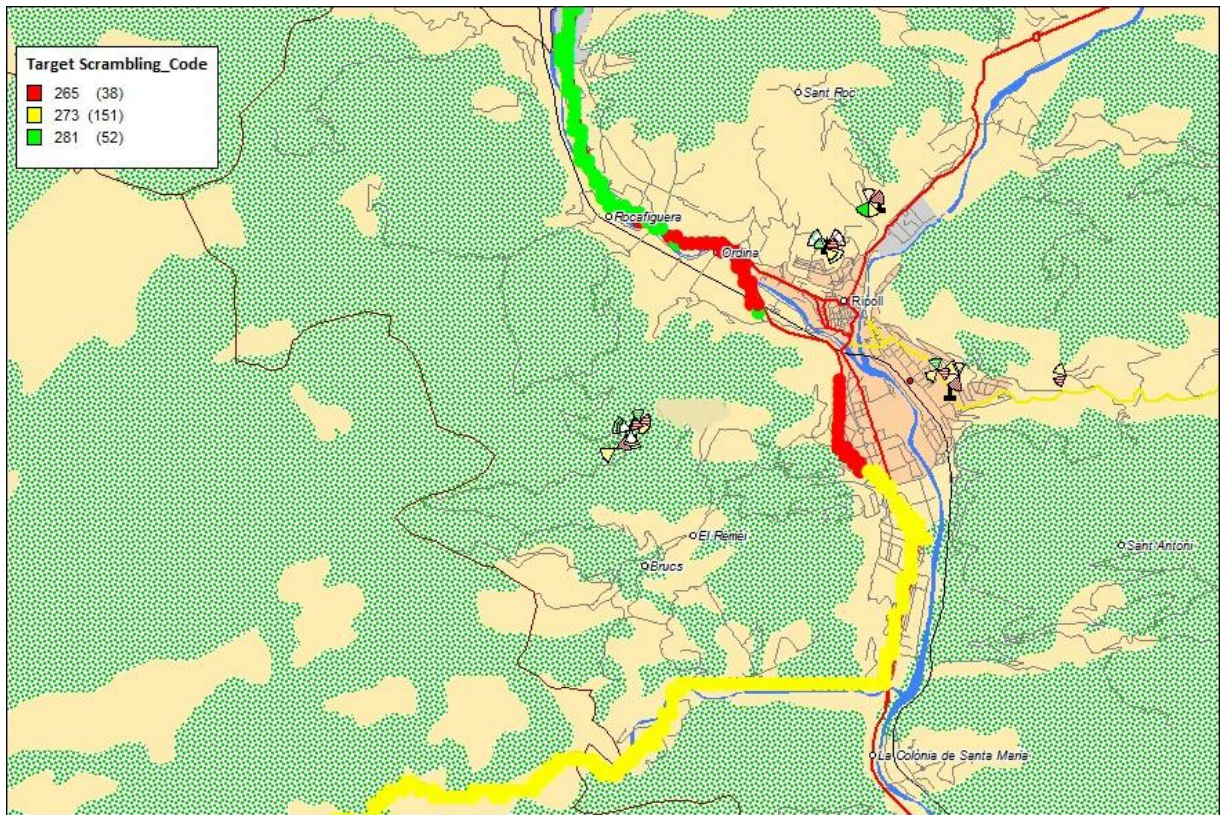


Figura 19. Target SC Map.

3. Comparación de un nodo urbano con un nodo rural

- **Target Rx Level:** Medida para 2G. Unidad: dBm. En este caso se analiza la potencia recibida de cada muestra en un intervalo de -10 a -140 dBm.

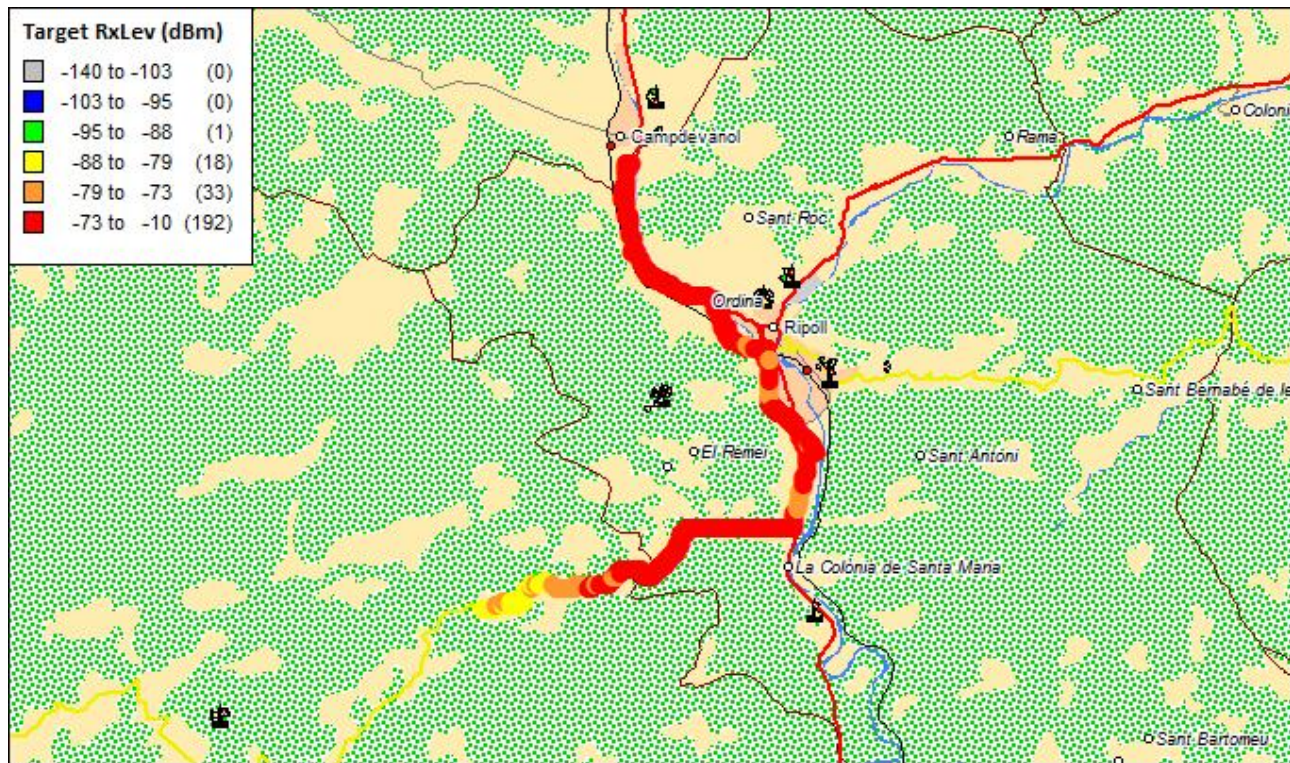


Figura 20. Target RxLevel Map.

- **Target RSCP:** Medida para 3G. Unidad: dBm. Se analiza la potencia del 3G.

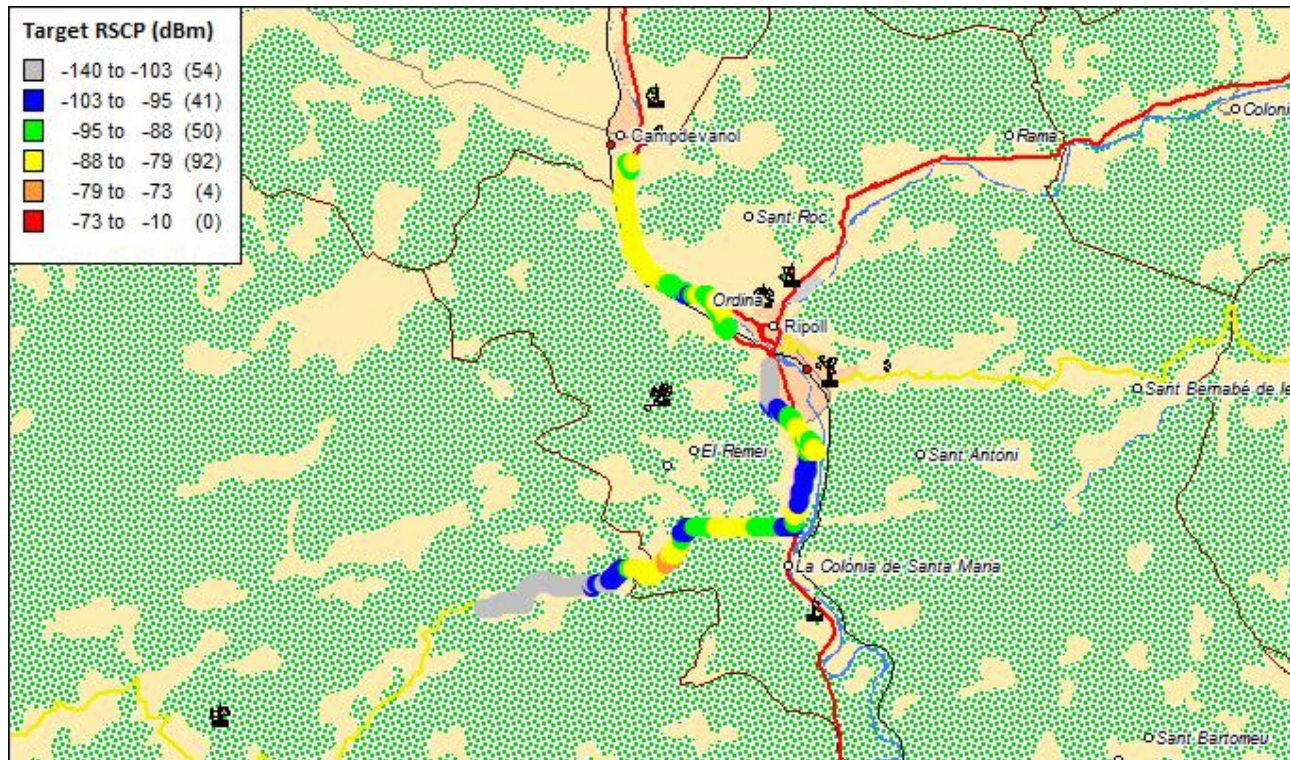


Figura 21. Target RSCP Map.

- **Target EcIo:** Medida 3G. Unidad: dBs. Ec/Io es el ratio de energía por chip en el CPICH, por el total de la densidad de potencia recibida incluido el propio CPICH. El CPICH es un canal broadcast de bajada con potencia constante y una determinada secuencia.

Para definirlo de una manera más detallada, el UMTS utiliza el método de acceso WCDMA, que es una técnica de acceso múltiple de espectro ensanchado. En recepción se multiplica a la señal recibida por una secuencia origen que devuelve la señal deseada en banda base mientras las otras señales permanecen ensanchadas [14]. Por tanto, es la relación que mide esa portadora con el resto del espectro ensanchado. GSM sin embargo utiliza diferentes métodos de acceso como el SDMA, TDMA y FDMA.

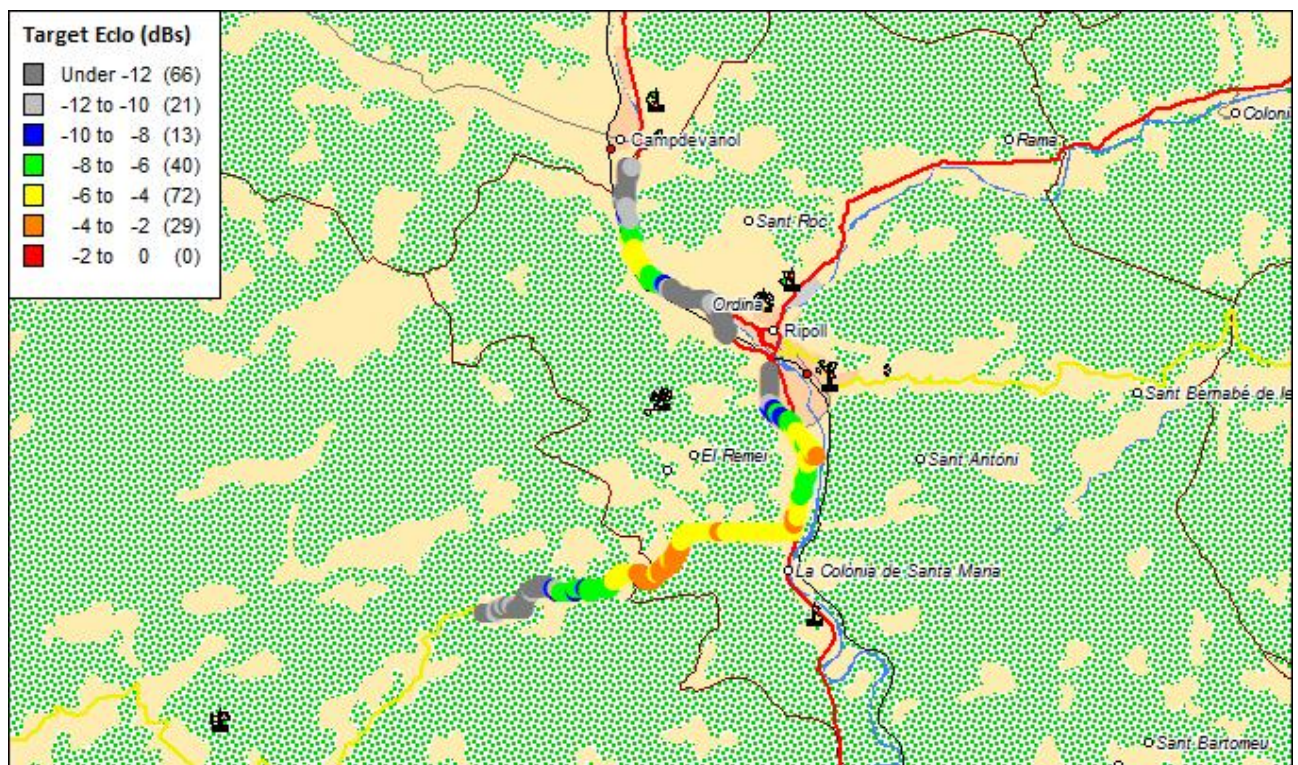


Figura 22. Target EcIo Map.

- **Events:** Medidas 2G y 3G. Permite conocer las caídas, los bloqueos o los HO que se han hecho en el lugar exacto. Esto vale por ejemplo para encontrar determinadas zonas de sombra donde no pueda llegar la señal debido a ondulaciones del terreno o posibles túneles de carreteras.

Se puede localizar una determinada zona donde se realizan muchos HO, lo que nos podría ayudar a optimizar la red. Si un determinado sector tiene muchos HO con otras celdas puede ser indicativo de que cursa mucho tráfico y tiene que ceder el servicio a otro nodo o a otro sector del mismo nodo.

Del mismo modo el nodo tiene un número elevado de bloqueos lo más fácil es que sea debido al gran tráfico que cursa la estación o a indisponibilidades del sistema.

3. Comparación de un nodo urbano con un nodo rural

También se puede sacar información de un elevado número de caídas. Pongamos un ejemplo:

Si se traza un camino recto entre dos los nodos A y B, apuntando uno al otro, y realizamos las medidas del nodo A, si vemos que tiene un elevado número de caídas, podríamos sacar la lectura de que la potencia del nodo A no es la suficiente para que cuando se aleje un coche por ejemplo del nodo A y se acerque al B, llegue a la zona de aplicación del nodo B, para que el nodo A pueda realizar un handover con el nodo B.

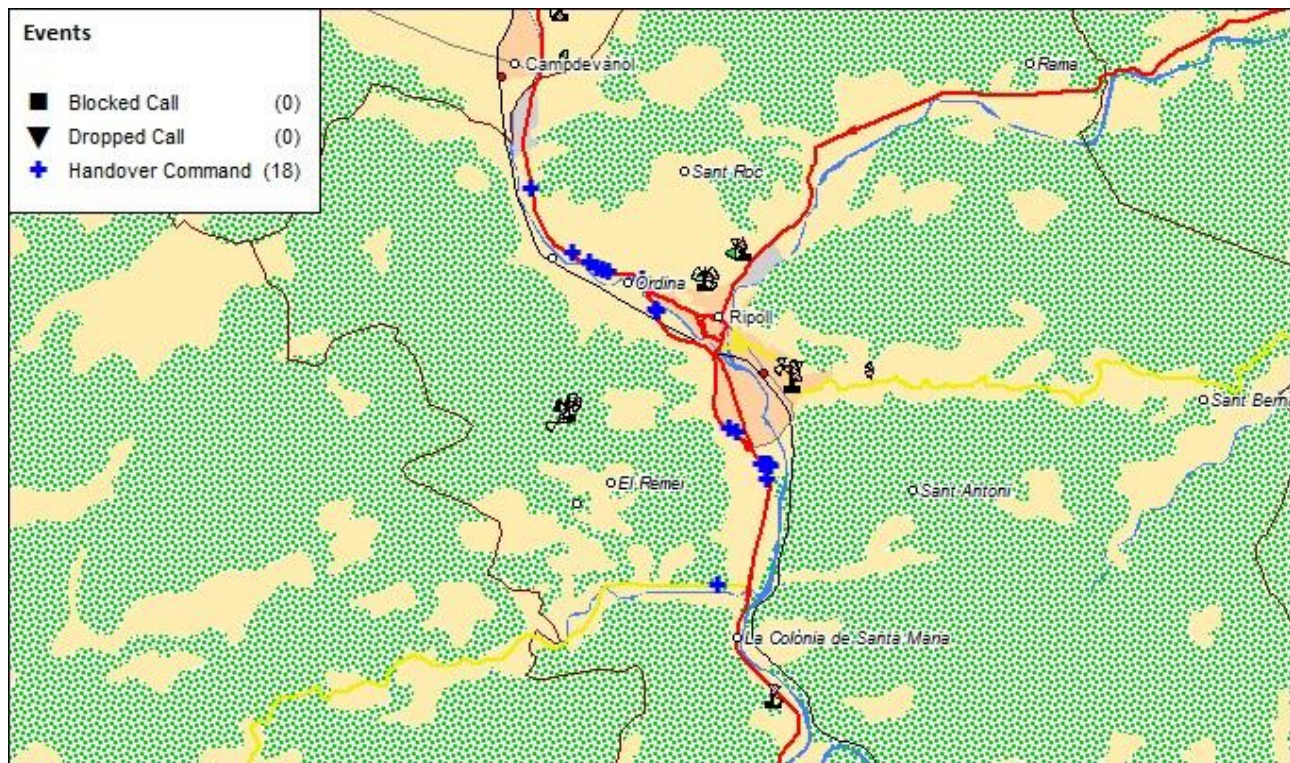


Figura 23. Events Map.

Hay otras medidas que aportan información de un nodo. Esta información se saca comparando el nodo con los nodos de alrededor. Estas medidas son las siguientes:

- **BS BCCH:** Medida 2G. En esta medida aparecen todas las frecuencias que se han captado en el DT. La frecuencia que más muestras tenga corresponderá con la que aporta el mejor servicio.

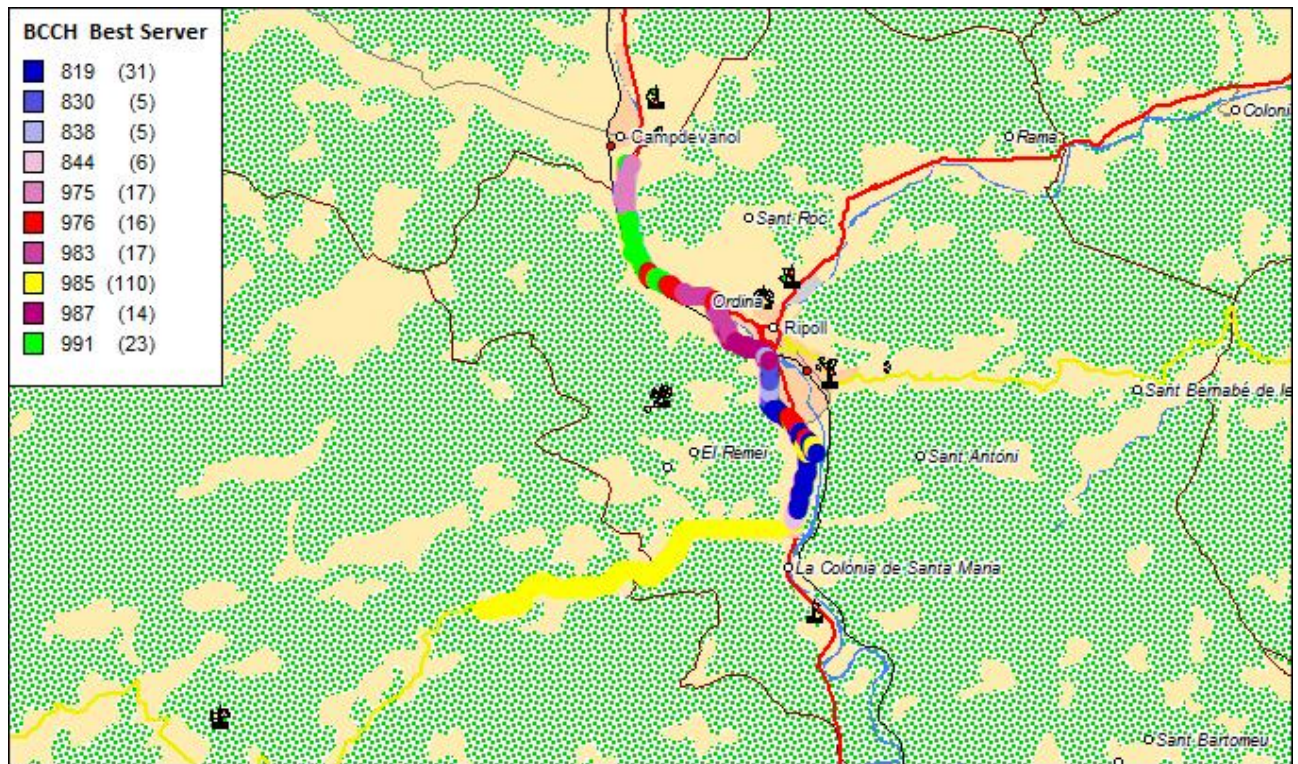


Figura 24. BCCH Best Server Map.

- **BS SC:** Medida 3G. Muestra el mejor servicio 3G. De la misma manera que el anterior, el código que más muestras tenga corresponderá con la que aporta el mejor servicio.

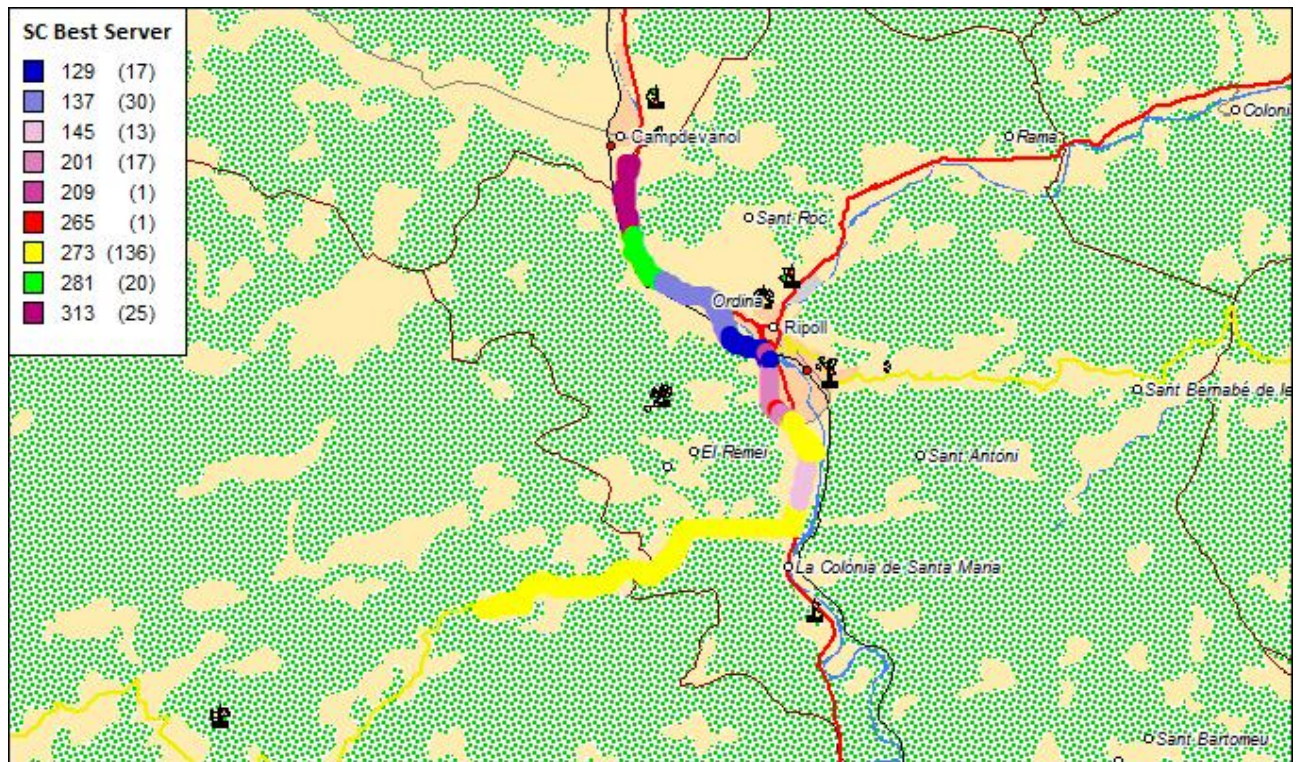


Figura 25. SC Best Server Map.

3. Comparación de un nodo urbano con un nodo rural

- **BS Rx Level:** Medida 2G. Unidad: dBm. Muestra los mejores niveles de potencia de todos los nodos de la zona. Esta medida aporta información cuando se mide la potencia recibida de nuestro nodo y se ve que es baja. Posteriormente se compara con las potencias de la zona y si está más o menos en el mismo rango, quiere decir que las bajas potencias recibidas no son problemas del diseño del nodo, sino de la zona.

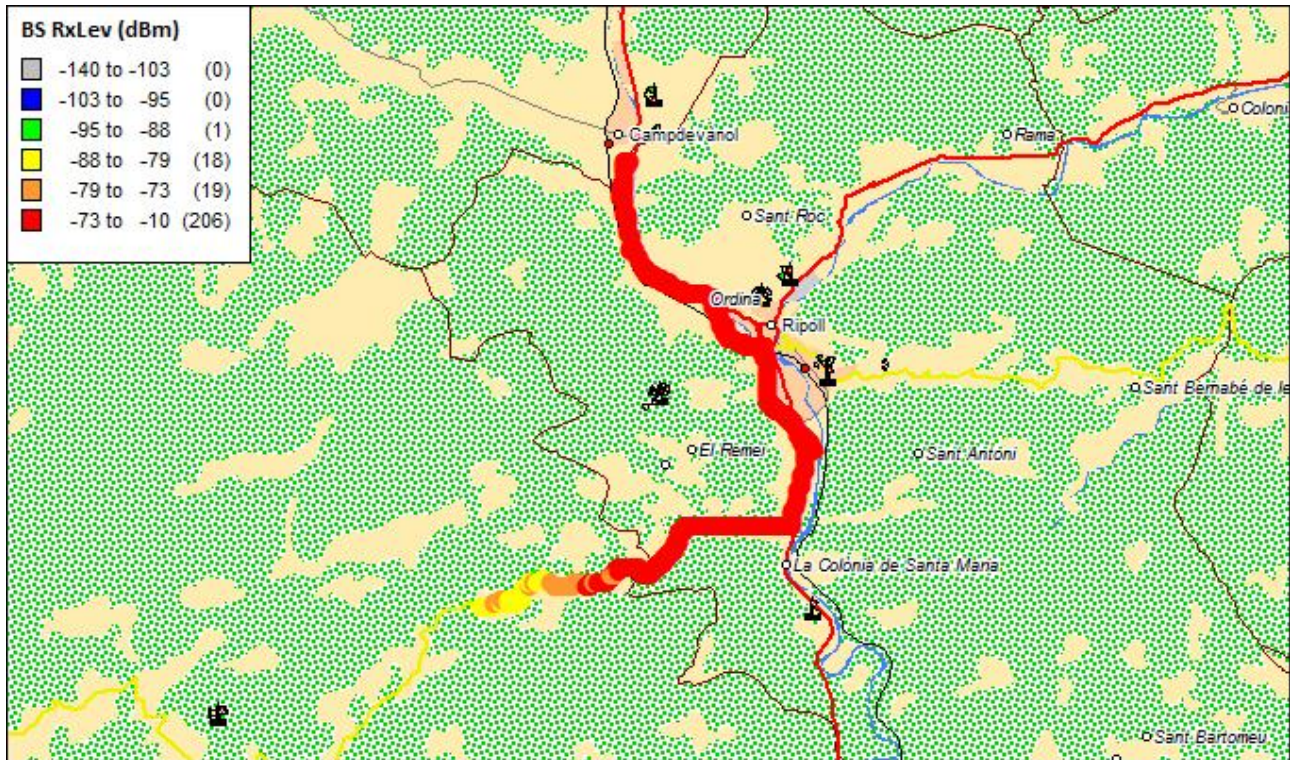


Figura 26. Best Server Rx Level Map.

- **BS RSCP:** Medida 3G. Unidad: dBm. Símil de la anterior medida pero para 3G.

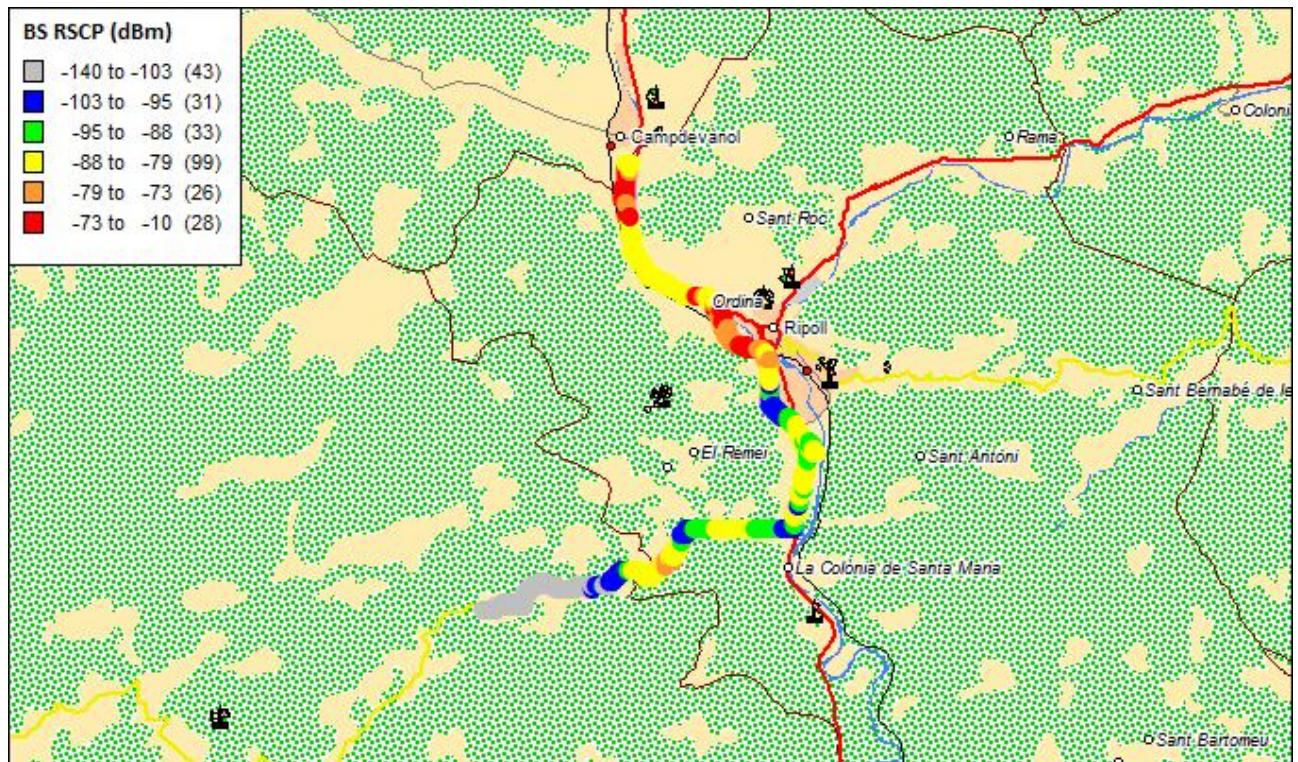


Figura 27. Best Server RSCP.

- **BS EcIo:** Medida 3G. Unidad: dBs. Se realiza la medida portadora-interferencia para toda la zona para compararla con relación la portadora-interferencia del propio nodo. Si se tiene una mala relación en el nodo comparada con las de la zona es probable que sea porque se hayan elegido mal los SC del nodo y coincidan con un nodo vecino.

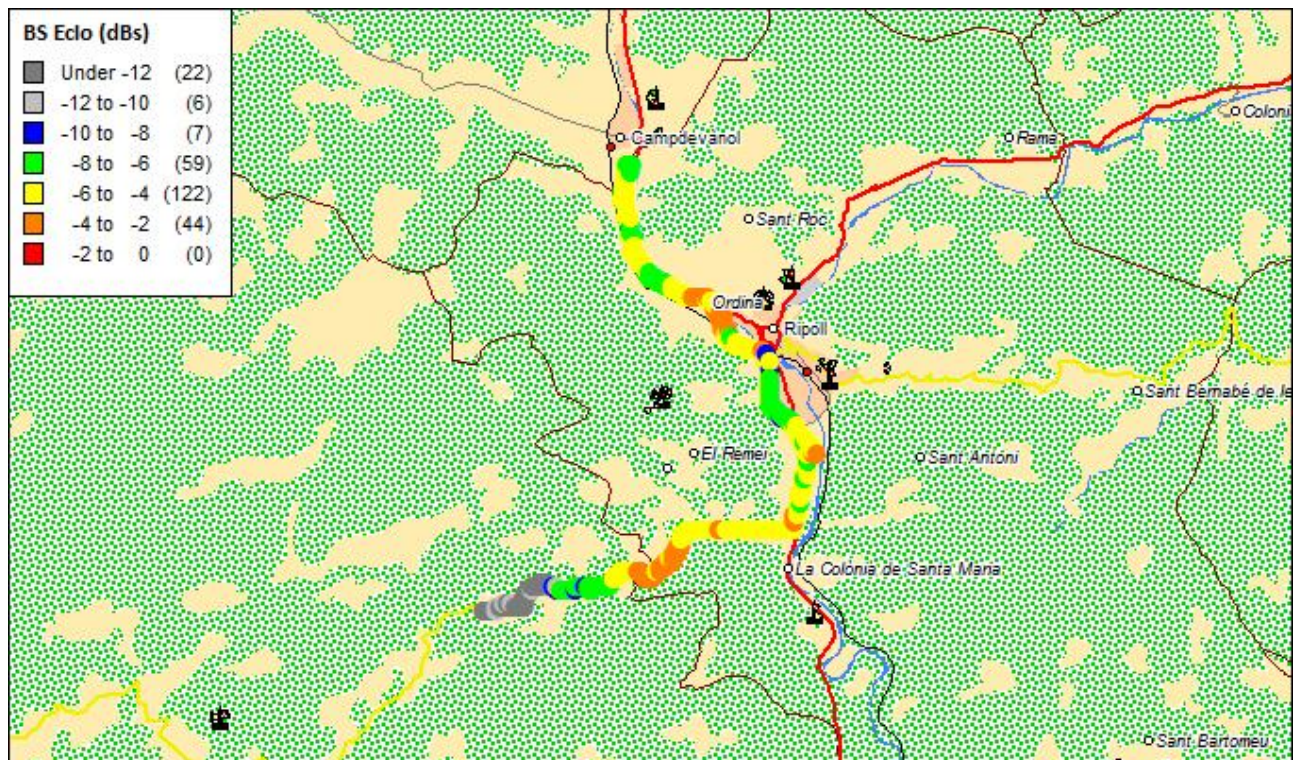


Figura 28. Best Server EcIo

3. Comparación de un nodo urbano con un nodo rural

4. ESTUDIO DE COBERTURA INDOOR

Cuando el operador necesita **mejorar la cobertura** en uno de sus clientes se realiza una petición técnica de cobertura, una PTC.

Se realizan los siguientes pasos para llevarla a cabo:

- Medidas previas: Se realizarían medidas de cobertura y calidad tanto en 2G como en 3G en todas las zonas que el cliente indique.
- Replanteo: En el replanteo deben quedar definidos los diferentes elementos a instalarse, desde el equipo, cables, marca, modelo, ubicación, conexión, altura de antenas y orientación.
- Integración: Generación de plantillas de radio y transmisión.
- Aceptación: Se realizarían medidas de cobertura y calidad tanto en 2G como en 3G para cerciorarse de que se cumplen los requisitos.

4.1 Medidas previas y presupuesto

Lo primero sería realizar unas **medidas previas** con un pocket en la sede del cliente. Se realizarían medidas de cobertura y calidad tanto en 2G como en 3G en todas las zonas que el cliente indique. Además también habría que realizar medidas en la azotea para comprobar si tienen niveles para repetir por si se opta por esa solución, y revisar si hay línea de vista con otra estación del mismo operador por si se opta por una solución micro o macro. Se analizan las medidas realizadas, evaluando los niveles y calidad encontrados. Si se encuentran deficiencias se procede a diseñar una solución de repetidor, micro o macro. La solución puede ser 2G, 3G o dual. Con esta información se deberá elaborar un informe con los datos del lugar, las medidas previas y la solución que se aporta con el **presupuesto** estimado y el tiempo en ejecutar dicha solución.

A continuación se muestra un presupuesto aproximado de la solución de instalación de un repetidor:

Tabla 5. Presupuesto replanteo para la integración de un repetidor.

Tipo de cotes	Coste
Fijos	2700€
Suministro equipo radio	6000€
Solución de TX	0€
Obra civil e instalación	3000€
Suministro infraestructura (sin equipos)	900€
Suministro de equipos (Radio y TX)	6000€
Coste Total	18600€

4.2 Replanteo

Si se valida el presupuesto de la solución se realiza el replanteo. En el replanteo se tiene que diseñar la solución que se propone y que ha sido aceptada. Normalmente nos encontramos con dos tipos de soluciones:

- **Instalación de un repetidor en la azotea:** Se realiza esta solución cuando se tienen buenos niveles de señal en la azotea. Lo que se hace es utilizar celdas de estaciones cercanas para mejorar la cobertura dentro del edificio.

Lo primero se chequea en que orientaciones hay mejores niveles de potencia. Se diseñaran antenas donantes que apunten en la dirección de esas celdas. Posteriormente habrá que cablear las antenas con las antenas puestas dentro del edificio. Será necesario el uso de acopladores, diplexores y splitters para la distribución de las diferentes antenas. Dentro del edificio se emplearán diferentes antenas dependiendo de las zonas de cobertura a cubrir dentro de los edificios, normalmente se utilizan antenas omnidireccionales, paneles (que son muy direccionales) y antenas bilobulares.

- **Instalación de una macro o micro:** Este tipo de solución se toma cuando dentro del edificio hay malos niveles y en la azotea tampoco se muestran buenos niveles de señal. En realidad es instalar una estación nueva en la azotea del edificio, y se tiene que

diseñar la parte radio y de transmisión desde cero. Se deberá diseñar la parte radio igual que para un nodo urbano de telefonía y la parte de transmisión, aparte de todos los splitters, diplexores, acopladores y cableados que hay que diseñar. Como en la solución anterior, habrá que realizar también el enrutamiento.

Dentro de esta solución hay dos posibles soluciones de transmisión. La primera de ellas es realizar las **tiradas** de canutos en el edificio hasta encontrar el punto de entrada del nodo a la red de telefonía y la segunda es poner un **radioenlace** en la azotea para evitar realizar dichas tiradas en el edificio.

Las soluciones macro normalmente están formadas por dos sectores que apuntan al exterior y un sector para el interior del edificio. Las soluciones micro sin embargo se utilizan más para dar mayormente cobertura al interior del edificio. Las soluciones macro y micro son más costosas y laboriosas que la solución anterior.

Por tanto, en el replanteo deben quedar definidos los diferentes elementos a instalarse, desde el equipo, cables, marca, modelo, ubicación, conexión, altura de antenas y orientación. Una vez realizado el replanteo en el procesado de oficina se decidirán los elementos de distribución exactamente para establecer un diseño con un balance de potencias equilibrado. Se deberá de rellenar en las bases de datos toda la información acerca de la solución diseñada. En la BBDD deben quedar definidos los fabricantes y modelos de todos los elementos que intervienen en la solución.

A continuación se muestra un **esquema vertical** de un diseño de la primera solución:

4. Estudio de cobertura indoor

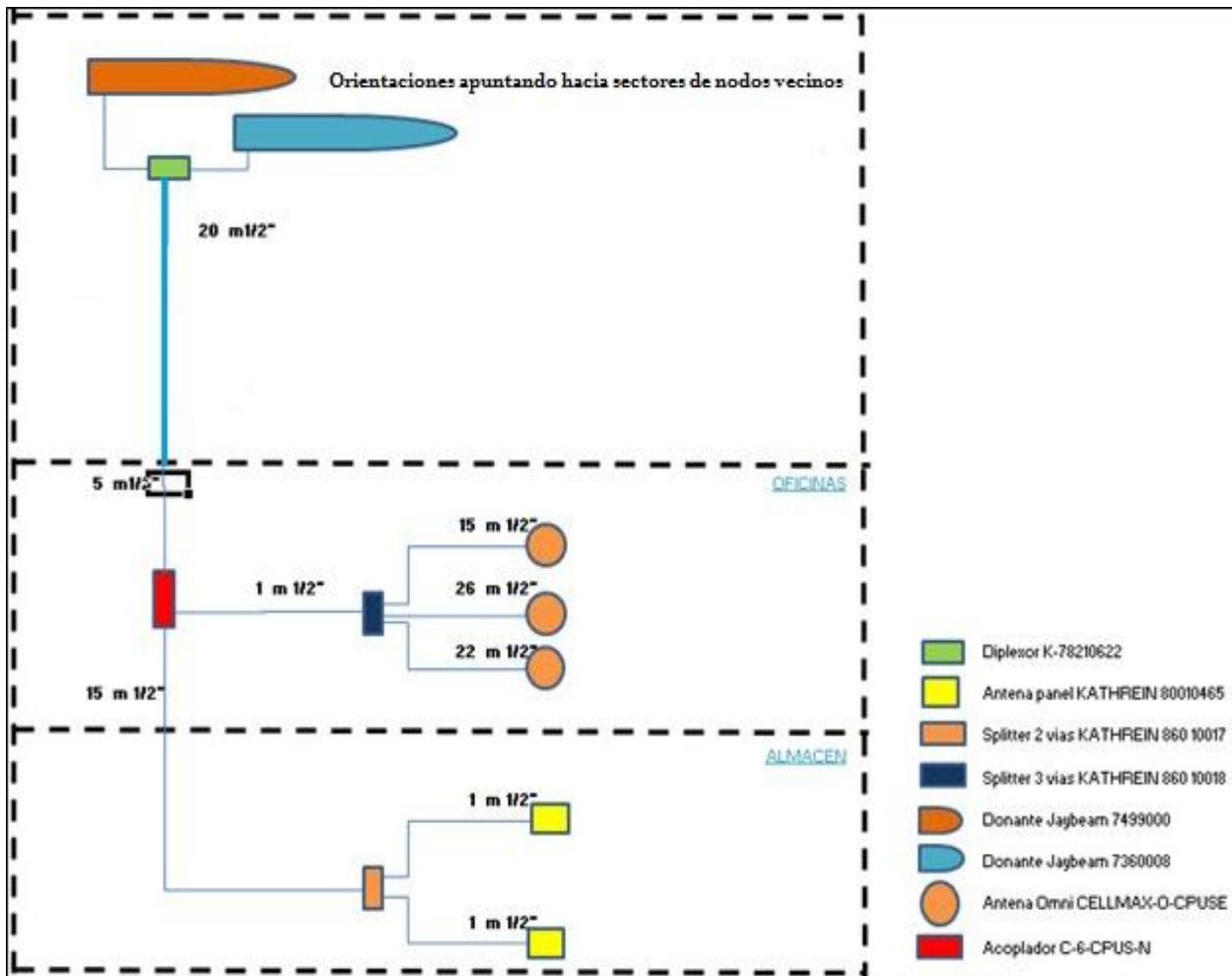


Figura 29. Esquema vertical de diseño con repetidor.

En este ejemplo el esquema vertical está formado por dos antenas donantes orientadas hacia celdas de otras estaciones. Ambas se juntan con un diplexor y baja una tirada de cable de 20 metros de coaxial de media pulgada hasta el último piso de las oficinas, formado por tres plantas. Desde ahí se realiza otra tirada de cable de 5 metros hacia la planta de oficinas intermedia donde hay un acoplador, el cual tiene unas pérdidas mayores para el piso de oficinas que para el piso inferior de almacenes. Esto se realiza con un acoplador porque en el planta de abajo habrá más atenuación por cables que en las plantas de oficinas. De la salida del acoplador dirigida hacia las plantas de oficinas sale un metro de cable hacia un splitter del que saldrán las tiradas de cable de distintas longitudes hacia cada planta, hasta llegar a las antenas omnidireccionales instaladas en centro de las oficinas. De la otra salida del acoplador salen 15 metros de cables hasta llegar a un splitter de 2 vías que acaba en dos paneles, los cuales son muy direccionales, colocándose en paredes apuntando al resto de la planta.

4.3 Integración

Si la solución es poner un repetidor no habrá que realizar plantillas de radio y TX, únicamente cuando se instale el repetidor será necesario configurar los siguientes datos de diseño:

- Frecuencias y canales a repetir.
- Orientación de las antenas donantes.
- Ganancia del repetidor.

Si la solución es micro o macro se deberán generar tanto plantillas radio como TX y enrutamiento TX.

4.4 Aceptación

Cuando se haya implementado la solución se deberán realizar unas medidas con el pocket para corroborar que el diseño es correcto y que funciona de una manera óptima. Se realizarán pruebas en las tecnologías que se haya realizado la mejora de cobertura. Se analizarán esos datos y se realizará un informe donde debe incluirse las gráficas de las nuevas medidas de niveles de señal y calidad, pruebas de descarga de datos en el caso de mejora 3G, pruebas de llamadas y pruebas de HO con estaciones limítrofes y la descripción del diseño realizado .

5. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Este proyecto se ha introducido en el mundo del diseño de redes móviles partiendo del proceso a seguir para instalar un nodo de telefonía urbano. Se ha realizado una comparación con un nodo rural y se ha realizado un pequeño estudio de posibles mejoras de infraestructura para mejorar la cobertura en edificios.

Dentro de lo amplio que es el proyecto se ha dado una visión clara del **proceso a seguir** para la instalación de un nodo de cobertura y ese era el **objetivo** del proyecto. Se puede observar que no hay gran diferencia de un diseño a otro, todos los nodos que se diseñen deben seguir los mismos pasos aunque cambien las circunstancias que lo rodean. Todo consiste en estudiar el entorno, pensar en una solución, instalar un equipo de transmisión, crear la transmisión que lo conecte a la red, probar cómo funciona el nodo en cuestión y modificar algún parámetro si es necesario para que cumpla los porcentajes de llamadas y conexiones.

Respecto a los trabajos futuros que se podrían considerar se podría explicar lo que se está empezando a desempeñar en las empresas de servicios móviles. En la **actualidad** se está empezando a instalar LTE en los nodos que ya tenían 2G y 3G. Se están instalando nuevos equipos que pueden trabajar con las tres generaciones con antenas que pueden trabajar en diferentes bandas. Después del **apagón analógico** los diferentes operadores se han rifado el espectro radioeléctrico, no sin sacrificio económico lógicamente, para meter el LTE, y esto hace que un mismo nodo pueda trabajar en las bandas de 800, 900, 1800, 2100 y 2600 Mhz.

Aprovechando la adaptación de los nuevos equipos al 4G, se está intentando ampliar más la capacidad de la red instalando segundas y terceras portadoras al UMTS900 y UMTS2100, con lo que se podrá lograr un mayor **número de usuarios** utilizando la red a la vez. Esta solución es bastante fácil y económica de implementar ya que los SC van a ser los mismos que tenían las primeras portadoras, lo único que cambia son las frecuencias de subida y de bajada pero siguen estando dentro de la misma banda por lo que no es necesario ni cambiar de antenas.

No solo es cuestión de cambiar la parte terminal de la red, aumentar la capacidad de tráfico y las velocidades como en el caso de 4G no sería posible sin realizar otras modificaciones. Se debe modificar la parte de la **transmisión y el enrutamiento** desde un nodo origen a un nodo destino. Se deben modernizar enlaces aumentando su capacidad de tráfico y realizar más rutas sobre IP.

Otro de los grandes proyectos que se están llevando a cabo es la instalación de **fibra óptica** hasta el nodo lo que otorga grandes ventajas como flujos muy elevados, inmunidad electromagnética, atenuación muy pequeña independientemente de la frecuencia...

Por lo tanto la red de telefonía lo que hace es **adaptarse** a las nuevas generaciones y a la demanda de mayor capacidad. Para el 2020 teóricamente aparecerá la quinta generación de telefonía móvil, lo que abre una ventana al debate. A una nueva generación de telefonía móvil típicamente se le ha asignado una banda de frecuencias y un mayor ancho de banda por canal, lo que es complicado ya que en el espectro radioeléctrico no hay muchos huecos. Para ser una nueva generación no creo que sea suficiente con incrementar el bitrate, sería necesario por ejemplo conseguir mayor número de dispositivos conectados, mejor eficiencia espectral del sistema, mejor cobertura, latencias menores o mayor versatilidad y escalabilidad.

Se puede esbozar una visión utópica de una red perfectamente estructurada formada por **micro células** capaces de otorgar mayor velocidad a los usuarios aprovechando el menor número de usuarios por recurso. Es posible que algún día lo consigamos.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] “40 años de la primera llamada desde un móvil,” *20 minutos*, 2013.
- [2] U. Nacional, L. Valeria, and E. Uribe, “Teleproceso y Sistemas Distribuidos,” Universidad Nacional del Nordeste, 2006.
- [3] “Estudio de mercado de la agencia de estadísticas Gartner,” 2014.
- [4] “Generaciones móviles.” [Online]. Available: http://es.wikipedia.org/wiki/Historia_del_teléfono_móvil.
- [5] “Enabling the mobile workplace with Private Mobile eXchange Private GSM network solutions for business communications – a Fixed Mobile Convergence solution.”
- [6] “Radiolocalización GPS.” [Online]. Available: <https://sites.google.com/site/tecnologiascomunicacin/home/satelites-de-comunicaciones/radiolocalizacion-gps>.
- [7] P. A. Dr. Dharma and Z. Dr. Qing-An, *Introduction to Wireless and Mobile Systems*, Third. 2011.
- [8] “Visión general mostrada por responsables de BBDD de mi empresa.” .
- [9] “Conocimientos de diseño radio obtenidos a lo largo de mi estancia en la empresa.” .
- [10] “Reunión con ingenieros de enrutamiento y transmisión.” 2014.
- [11] “Rack.” [Online]. Available: <http://es.wikipedia.org/wiki/Rack>.
- [12] “ITU-T Recommendation G.8261:Timing and Synchronization aspects in packet networks,” 2008.
- [13] “Clase práctica de medición con tecnicos de campo.” 2014.
- [14] “Tecnicas de acceso multiple 2G y 3G.” .